



Acerca de este libro

Esta es una copia digital de un libro que, durante generaciones, se ha conservado en las estanterías de una biblioteca, hasta que Google ha decidido escanearlo como parte de un proyecto que pretende que sea posible descubrir en línea libros de todo el mundo.

Ha sobrevivido tantos años como para que los derechos de autor hayan expirado y el libro pase a ser de dominio público. El que un libro sea de dominio público significa que nunca ha estado protegido por derechos de autor, o bien que el período legal de estos derechos ya ha expirado. Es posible que una misma obra sea de dominio público en unos países y, sin embargo, no lo sea en otros. Los libros de dominio público son nuestras puertas hacia el pasado, suponen un patrimonio histórico, cultural y de conocimientos que, a menudo, resulta difícil de descubrir.

Todas las anotaciones, marcas y otras señales en los márgenes que estén presentes en el volumen original aparecerán también en este archivo como testimonio del largo viaje que el libro ha recorrido desde el editor hasta la biblioteca y, finalmente, hasta usted.

Normas de uso

Google se enorgullece de poder colaborar con distintas bibliotecas para digitalizar los materiales de dominio público a fin de hacerlos accesibles a todo el mundo. Los libros de dominio público son patrimonio de todos, nosotros somos sus humildes guardianes. No obstante, se trata de un trabajo caro. Por este motivo, y para poder ofrecer este recurso, hemos tomado medidas para evitar que se produzca un abuso por parte de terceros con fines comerciales, y hemos incluido restricciones técnicas sobre las solicitudes automatizadas.

Asimismo, le pedimos que:

- + *Haga un uso exclusivamente no comercial de estos archivos* Hemos diseñado la Búsqueda de libros de Google para el uso de particulares; como tal, le pedimos que utilice estos archivos con fines personales, y no comerciales.
- + *No envíe solicitudes automatizadas* Por favor, no envíe solicitudes automatizadas de ningún tipo al sistema de Google. Si está llevando a cabo una investigación sobre traducción automática, reconocimiento óptico de caracteres u otros campos para los que resulte útil disfrutar de acceso a una gran cantidad de texto, por favor, envíenos un mensaje. Fomentamos el uso de materiales de dominio público con estos propósitos y seguro que podremos ayudarle.
- + *Conserve la atribución* La filigrana de Google que verá en todos los archivos es fundamental para informar a los usuarios sobre este proyecto y ayudarles a encontrar materiales adicionales en la Búsqueda de libros de Google. Por favor, no la elimine.
- + *Manténgase siempre dentro de la legalidad* Sea cual sea el uso que haga de estos materiales, recuerde que es responsable de asegurarse de que todo lo que hace es legal. No dé por sentado que, por el hecho de que una obra se considere de dominio público para los usuarios de los Estados Unidos, lo será también para los usuarios de otros países. La legislación sobre derechos de autor varía de un país a otro, y no podemos facilitar información sobre si está permitido un uso específico de algún libro. Por favor, no suponga que la aparición de un libro en nuestro programa significa que se puede utilizar de igual manera en todo el mundo. La responsabilidad ante la infracción de los derechos de autor puede ser muy grave.

Acerca de la Búsqueda de libros de Google

El objetivo de Google consiste en organizar información procedente de todo el mundo y hacerla accesible y útil de forma universal. El programa de Búsqueda de libros de Google ayuda a los lectores a descubrir los libros de todo el mundo a la vez que ayuda a autores y editores a llegar a nuevas audiencias. Podrá realizar búsquedas en el texto completo de este libro en la web, en la página <http://books.google.com>



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>

Bulletin de la Société internationale des électriciens

Société
internationale des
électriciens

~~Sci 1480 152~~

KG 539

Harvard University



LIBRARY OF THE
DIVISION OF
ENGINEERING

JUL 1 1909

TRANSFERRED
TO
HARVARD COLLEGE
LIBRARY



Sci 1480 152

KG 539

Harvard University



LIBRARY OF THE

DIVISION OF
ENGINEERING

JUL 1 1909

TRANSFERRED
TO
HARVARD COLLEGE
LIBRARY



nov. dec.
C
TOME II. (2^e SÉRIE).

N^o 11.

JANVIER 1902.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

Société reconnue d'utilité publique par décret en date du 7 décembre 1886.



SIÈGE SOCIAL :
12 ET 14, RUE DE STAEL,
PARIS.

LABORATOIRE :
12 ET 14, RUE DE STAEL,
PARIS.

PRIX DE L'ABONNEMENT POUR UN AN (à partir de janvier) :
FRANCE..... 25 FR. | UNION POSTALE..... 27 FR.

Prix du Numéro : 2 fr. 50 c.

On s'abonne sans frais dans tous les Bureaux de poste.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1902

Ce Recueil paraît chaque mois.

La reproduction des Mémoires publiés dans le BULLETIN est subordonnée à l'autorisation du Comité et à l'assentiment des Auteurs.
Les demandes de tirages à part doivent être faites en déposant les manuscrits.

Diplôme d'honneur, Exposition intern^{le} d'Electricité, Paris 1884. Hors concours, membre du Jury à l'Exposition intern^{le} de 1889.

MAISON BREQUET

Fondée en 1783. — Société anonyme au capital de 4.000.000 de francs
PARIS. — 19, rue Didot. — PARIS.

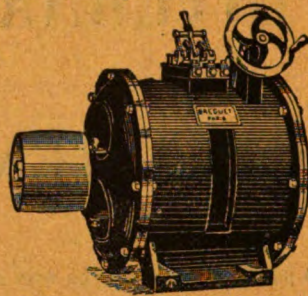
APPLICATIONS GÉNÉRALES DE L'ÉLECTRICITÉ

Courant continu. — Courants alternatifs.

DYNAMOS A COURANT CONTINU DE TOUTES PUISSANCES
ALTERNATEURS & TRANSFORMATEURS
à courant alternatif simple et à courants polyphasés pour éclairage et transmission de force.

MOTEURS ASYNCHRONES
Système Boucherot

Ni collecteur
Ni balais
Ni accessoires
de démarrage.



A COURANTS POLYPHASÉS
Breveté S. G. D. G.

Démarrage direct en charge.
Le courant de démarrage
est proportionnel
au couple moteur développé.

Constructeur exclusif des Turbines à vapeur, système de Laval, de 5 à 300 chevaux

(Brevet de la Société de Laval)

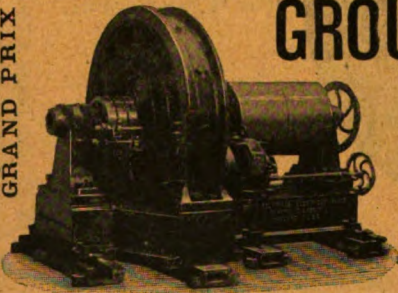
Turbines dynamos. — Turbines motrices. — Turbines pompes. — Turbines ventilateurs.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES NAVIRES

Projecteur à miroir parabolique, breveté S. G. D. G. — Lampe mixte horizontale, brevetée S. G. D. G.

APPAREILS TÉLÉGRAPHIQUES. — APPAREILS TÉLÉPHONIQUES.

Exposition de 1900 :
GRAND PRIX



GROUPES ÉLECTROGÈNES TRANSFORMATEURS DYNAMOS MOTEURS

Société " L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE "

Société Anonyme au Capital de 4.000.000 de francs.

Administration : 27, rue de Rome.
Téléphone : 528.50.

PARIS

Ateliers : 250, 362, 364, rue Lecourbe.

Adresse télégraphique : Léclicque-Paris.

AGENCE FRANÇAISE DES ATELIERS DE
CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES
de VEVEY (Suisse).

INSTALLATIONS HYDRAULIQUES
SPÉCIALITÉ DE TURBINES

J.-Aug. SCHOEN

Ingénieur-Conseil,
Expert près les Tribunaux.

17, rue de la République, 17, LYON
Cabinet de 2 à 5 heures.

ÉLECTRICITÉ.

ÉCLAIRAGE. — TRACTION. — FORCE MOTRICE.

Service d'installations

ETUDES. — CONTRÔLE.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS,
55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS (6^e).

GUILLAUME (Ch.-Ed.), Docteur ès Sciences, Attaché au Bureau international des Poids et Mesures.
— **Traité pratique de la Thermométrie de précision.** Grand in-8, avec 45 figures dans le texte et 4 planches sur cuivre; 1889..... 12 fr.

HENRY (Ernest), Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur du personnel au Ministère des Travaux publics. — **Ponts sous rails. Ponts-routes à travées métalliques indépendantes. Formules. Barèmes et Tableaux. Calculs rapides des moments fléchissants et efforts tranchants pour les ponts supportant des voies ferrées de largeur normale, des voies de un mètre, des routes et chemins vicinaux.** Grand in-8 de viii-631 pages, avec 267 figures; 1894..... 20 fr.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS.
31300 Quai des Grands-Augustins, 55.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS A ÉTÉ RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE LE 7 DÉCEMBRE 1886.

DEUXIÈME SÉRIE.
TOME II. — ANNÉE 1902.



SIÈGE SOCIAL }
LABORATOIRE } 12 et 14, rue de Staël,
à Paris.

PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1902

~~SM 1490.150~~

KG 539

JUN 8 1909

Engineering department

JUN 20 1917

TRANSFERRED TO
HARVARD COLLEGE LIBRARY

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Compte rendu de l'Assemblée générale extraordinaire et de la réunion ordinaire mensuelle du mercredi 3 janvier 1902, p. 5. — Sur l'état actuel de la télégraphie sans fil par ondes hertziennes (M. le capitaine Ferrié), p. 9. — Étude des variations de la vitesse angulaire du volant d'une machine à gaz Otto à l'aide de la méthode stroboscopique (M. Cornu), p. 50. — Sur les procédés de mesure de l'écart angulaire d'une machine; procédé stroboscopique de M. Sartori (M. J. Blondin), p. 57.

Négociations avec la Ville de Paris pour la cession d'un terrain (M. E. Mascart), p. 63
délibération de l'Assemblée générale, p. 65.

Rapport sur les travaux de la quatrième section (M. Eug. Sartiaux), voir *Annexe*.

CORRESPONDANCE, p. 66.

Note sur les compteurs donnés à la Société par la Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel des usines à gaz, p. 69.

DISTINCTIONS HONORIFIQUES, p. 73.

PÉRIODIQUES ÉTRANGERS, p. 74.

BIBLIOGRAPHIE, p. 78.

OUVRAGES OFFERTS, p. 8c.

COMPTE RENDU

DE

L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE EXTRAORDINAIRE

ET DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 3 janvier 1902 (1).

PRÉSIDENTE DE M. A. HILLAIRET.

La séance est ouverte à 8^h 30^m soir.

Le procès-verbal de la dernière Réunion mensuelle est adopté.

Il est donné connaissance des dons et des Ouvrages offerts

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

à la Société (voir p. 80), ainsi que des demandes d'admission suivantes :

MM.

Darras (Alphonse), Ingénieur-Constructeur électricien, 123, boulevard Saint-Michel, à Paris. — Présenté par MM. Violet et Picard.

David (Louis-Étienne-François), Ingénieur en chef de la *Société Anonyme des Établissements Weyher et Richemond*, 85, rue Manin, à Paris. — Présenté par MM. Hillairet et Liébaut.

Duperron (Georges), Ingénieur civil, attaché au Laboratoire électrotechnique du Chemin de fer du Nord, 20, rue Jean-Robert, à Paris. — Présenté par MM. E. Sartiaux et Aliamet.

Faure-Beaulieu, Ingénieur des Arts et Manufactures, associé de la *Maison Garnier Faure-Beaulieu*, 54, avenue de la République, à Paris. — Présenté par MM. Hillairet et Lorin.

Fleury (Charles-Médéric), Chef Électricien du yacht *Lysistrata*, 120, avenue des Champs-Élysées, à Paris. — Présenté par MM. Guillon et Louvrier.

Gourgoulin (Charles-Eugène), Ingénieur à la *Société des Établissements Postel-Vinay*, 22, rue Ernest-Renan, à Issy-les-Moulineaux (Seine). — Présenté par MM. Rechniewski et Mix.

Jovignot (Charles), Ingénieur des Services électriques à la *Compagnie des Tramways de l'Est-Parisien*, 10, rue Leneveu, à Paris. — Présenté par MM. Gosselin et Lorin.

Magunna (Henri-Charles), Ingénieur à la *Société des Télégraphes Multiplex* (Système E. Mercadier), 22, rue de Staël, à Paris. — Présenté par MM. Mercadier et Perchon.

Rouyer (Charles), Capitaine d'artillerie, École centrale de Pyrotechnie, à Bourges (Cher). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Ruoff, Ingénieur électricien, 15, rue Parrot, à Paris.

Sarrat (Frédéric-Jacques), Ingénieur à la *Compagnie Russe-Française de Chemins de fer et Tramways*, ancien Élève de l'Institut Montefiore de Liège, 25, boulevard Bigo-Danel, à Lille (Nord). — Présenté par MM. David (Ch.) et Guillon.

Savorgnan de Brazza-Cergneu (comte François), S. M. Iconia 3049, à Padoue (Italie). — Présenté par MM. Hillairet et Grosselin.

Weyer (Victor-Jacques), Sous-Directeur de la *Compagnie Électrique du Secteur de la Rive gauche*, 9, rue de Vernouil, à Paris. — Présenté par MM. Guillon et Louvrier.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

Il est fait part du décès de MM. Beaufils et Kerkwyk, Membres de la Société.

M. le PRÉSIDENT annonce que la Compagnie pour la fabrication des Compteurs et matériel d'usines à gaz, accédant gracieusement

aux démarches de M. Eug. Sartiaux, a bien voulu faire don à la Société, pour le Musée d'Électricité, d'une série très intéressante de compteurs ayant figuré dans le Musée centennal de l'Exposition universelle de 1900 et dont la liste est publiée ci-après (*voir* p. 69); il adresse des remerciements aux administrateurs de cette Compagnie.

M. le PRÉSIDENT est heureux d'informer la Réunion que l'Académie des Sciences a décerné le Prix Planté à M. Boucherot.

M. EUG. SARTIAUX, Président de la quatrième Section du Comité, présente un Rapport sur les travaux de cette Section.

M. le PRÉSIDENT remercie M. E. Sartiaux de son intéressant Rapport qui sera distribué dans la huitaine pour être discuté dans la séance du 5 février.

M. EUG. SARTIAUX. — « Messieurs, Notre Président veut bien m'autoriser à interrompre un instant l'ordre du jour, pour vous faire la Communication suivante :

» Un Comité formé d'ingénieurs, de constructeurs et d'ouvriers électriciens, s'est constitué dans le but d'élever dans Paris un monument à Z. Gramme.

» Je n'ai pas besoin de vous rappeler quelle a été la carrière de Gramme et les services que ses admirables inventions ont rendus et rendent encore à la Science et à l'Industrie française.

» Le monument projeté, grâce au concours de M. Chandèze, Directeur du Conservatoire des Arts et Métiers et de notre ancien Président M. Mascart, sera élevé dans le square qui doit être établi autour du Conservatoire des Arts et Métiers : nous avons reçu les autorisations nécessaires.

» Quelques-uns d'entre vous ont été déjà sollicités pour participer à la souscription dès maintenant ouverte; les autres le seront bientôt. Je viens vous demander, Messieurs, de vouloir bien faire bon accueil à la demande que vous recevrez dans ce but et d'apporter au Comité, qui désire faire bien, votre concours le plus large possible.

M. LE PRÉSIDENT. — « Messieurs, la raison d'être de la Communication que vient de vous faire votre vice-président, M. E. Sartiaux, est que les statuts de notre Société ne lui permettent pas de prendre part à une souscription comme celle du monument de Gramme.

» L'appel de M. E. Sartiaux sera entendu et chacun de nous tiendra à honneur de contribuer à cette œuvre. »

M. le PRÉSIDENT annonce qu'il a reçu une lettre de la Société des anciens ateliers Van den Kerchove, de Gand, accompagnée d'une épure, relative à l'étude de la régularité par tour d'une machine compound double tandem, et une lettre de M. Blondel relative au Mémoire de M. Boucherot présenté à la séance de novembre.

On trouvera, en Annexe au présent *Bulletin*, la lettre et l'épure de la Société Van den Kerchove. La lettre de M. Blondel, accompagnée d'une Note, paraîtra dans le *Bulletin* de février.

M. LE PRÉSIDENT. — « Messieurs, sur les instances de M. Darcq, président de la 5^e section du Comité, M. le capitaine Ferrié, attaché au dépôt central de la télégraphie militaire, a bien voulu venir nous initier à l'état actuel de la télégraphie sans fil.

» Comme M. le capitaine Ferrié n'a pas encore pris la parole parmi nous, je le prie de croire que nous nous proposons de l'écouter avec la plus grande sympathie et avec le plus grand intérêt. »

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

Séance mensuelle du 8 janvier 1901.

TRAVAUX DE LA QUATRIÈME SECTION.

Compte rendu par M. E. SARTIAUX, président.

MESSIEURS,

Au nombre des études entreprises par la quatrième section, il en est une qui lui a paru pouvoir être immédiatement soumise à votre examen : ce sont les conditions techniques à déterminer pour la fabrication et la réception des câbles utilisés dans les distributions d'énergie électrique.

La quatrième Section n'a nullement l'intention de vous proposer de discuter le texte d'un véritable cahier des charges; son but est plus modeste; elle vient vous demander d'essayer de fixer, par quelques indications bien précises, certains points sur lesquels les industriels ont encore des opinions un peu variables, lorsqu'ils ont à commander ou à recevoir des câbles destinés à des installations de distribution d'énergie.

Avant d'arrêter les conclusions et les propositions que je vous lirai tout à l'heure, nous avons pris le soin de consulter un grand nombre d'ingénieurs et de constructeurs électriciens, à l'aide d'un questionnaire dont le texte a été soigneusement étudié et discuté.

Je ne peux mieux faire que de vous donner lecture de ce questionnaire et de vous résumer, à côté de chaque question, les réponses que nous avons reçues.

S.

1

FABRICATION DES CABLES POUR DISTRIBUTION D'ÉNERGIE.

QUESTIONNAIRE TECHNIQUE.

Première question. — Y a-t-il lieu de continuer à imposer des chiffres d'isolement, de résistance à la tension et autres, ou vaut-il mieux proposer aux constructeurs un programme général des conditions à remplir en leur indiquant :

- a. La charge probable des lignes;
- b. La perte consentie dans l'isolant et dans les conducteurs;
- c. Le nombre et la répartition probable des transformateurs;
- d. Le voltage efficace;
- e. La forme de la courbe de la force électromotrice de l'alternateur ou la valeur maxima de cette force;
- f. La résistance et la self des alternateurs et des transformateurs;
- g. Le constructeur fabriquerait et essaierait les câbles à son gré et sous sa responsabilité.

Moyennant une allocation annuelle à débattre, il prendrait à sa charge toutes réparations ne provenant pas d'un accident mécanique ou chimique extérieur, et cela pendant une longue période : dix ans ou plus.

Deuxième question. — Si l'on conserve le système actuel de fixation par le preneur des câbles des chiffres d'essai, quelle valeur serait-il logique d'admettre pour l'isolement kilométrique minimum des câbles à haute, moyenne et basse tension ?

Cette première question, toute de principe, est écartée d'une manière presque absolue. On tend, en effet, en général, à laisser au preneur le choix des valeurs de résistance, d'isolement et autres, sans communiquer au constructeur le programme des conditions à remplir.

Quant aux garanties de longue durée conclues avec une prime annuelle d'entretien, presque toutes les réponses en déclarent le principe inacceptable.

Cette question donne lieu à la réponse, quelquefois répétée, que l'isolement kilométrique ne signifie rien, et que les câbles doivent être simplement vérifiés à la tension, autrement dit à la rupture du diélectrique.

On donne cependant, dans toutes les réponses, des valeurs de résistance d'isolement kilométrique en fonction des tensions de fonctionnement des réseaux.

Les différents chiffres donnés par les réponses sont contenus dans le Tableau ci-dessous :

Tensions de fonctionnement.	Résistances kilométriques ou mégohms.
0	
200	300 Ω { 500 } 1000
250	{ 1000 } 700
1000	
2400	3000 Ω { 4200 } 3000
4000	{ 4200 } 10000
5000	
10000	

Deuxième question (suite).

Comme on le voit, les tensions de base sont très différentes et la division en trois catégories principales : haute, moyenne et basse tension, n'apparaît pas très bien.

En ce qui concerne les valeurs des résistances d'isolement que doivent avoir les câbles après pose, l'avis général est que la moitié de la résistance obtenue à l'usine satisferait largement.

Troisième question. — Le chiffre d'isolement doit-il être différent pour les câbles à courant continu et pour les câbles à courant alternatif dans les trois catégories de tension ci-dessus ?

Les réponses sont presque toutes identiques et demandent les mêmes valeurs dans les deux cas. Il ne faut, en effet, considérer les mesures de résistance d'isolement que comme une vérification grossière destinée à révéler un défaut capital de fabrication ou de pose.

Ces mesures doivent être appuyées par des essais de résistance à la rupture du diélectrique pour lesquels les quatrième et cinquième questions demandaient à fixer les conditions.

Quatrième et cinquième questions. — Dans quelle proportion le voltage efficace de fonctionnement doit-il être majoré pour les essais à la tension à l'usine :

- | | | |
|-----------------------------------|---|------------------------------------|
| 1° Pour les câbles torsadés. | { | a. Entre conducteurs. |
| | | b. Entre conducteurs et armatures. |
| 2° Pour les câbles concentriques. | { | a. Entre conducteurs. |
| | | b. Entre conducteurs et armatures. |

Ces essais de tension devront-ils être répétés après pose et dans quelles conditions de voltage et autres ?

Les réponses portent sur deux points principaux :

- 1° Essais à l'usine.
- 2° Essais après pose.

Dans le premier cas, on adopte d'une façon générale, comme valeur de la tension alternative efficace appliquée aux câbles en essai, le double de la tension de fonctionnement.

Pour les essais après pose, les réponses diffèrent davantage. La tension alternative à appliquer aux câbles varie, en effet, depuis la tension de fonctionnement, légèrement majorée jusqu'au double de celle-ci. La valeur moyenne semble être cependant la tension de fonctionnement majorée de 50 pour 100.

Sixième et septième questions. — Y a-t-il lieu d'imposer une limite supérieure et une limite inférieure à la capacité?

Y a-t-il lieu d'imposer un maximum d'impédance?

La plus grande incertitude règne en ce qui concerne la capacité et l'impédance qui font l'objet de ces deux questions.

Huitième question. — Comment tenir compte, pour les essais enfin de garantie, des branchements aboutissant aux appareils d'utilisation?

Cette question est également l'objet de réponses incertaines.

Neuvième question. — Doit-on, pour la distribution en monophasé, laisser aux constructeurs le choix entre le câble concentrique et le câble torsadé, ou imposer ce dernier type?

Cette question est généralement résolue par le choix des câbles torsadés, de préférence aux concentriques.

A la suite de l'examen des réponses que vous venez d'entendre, la quatrième Section vous propose de discuter en séance les conclusions et propositions suivantes :

« Les considérations d'ordre mécanique, ainsi que la composition des divers éléments d'un câble : nombre et nature des fils composant le ou les conducteurs, épaisseur et spécification des matières isolantes à employer, nature et dimensions des armatures, varient avec chaque cas particulier et suivant les conditions de fonctionnement et d'installation.

« Tous les points ci-dessus sont à régler d'accord avec le constructeur.

« Au point de vue électrique, les câbles doivent satisfaire à certaines conditions résumées ci-après :

« Les câbles, étant divisés en trois catégories principales suivant la tension de fonctionnement, doivent avoir un isolement kilométrique minimum de :

700 mégohms	jusqu'à	1000 volts
3000	»	» 1000 »
6000	»	» 10 000 »

« Après pose, les résistances d'isolement des câbles, y compris les raccords, doivent être au minimum le tiers des valeurs ci-dessus.

« En dehors des mesures de résistance d'isolement kilométrique, il y a lieu de demander au constructeur des essais de résistance à la rupture du diélectrique, soit à l'usine, soit après pose.

- » **Dans** le premier cas, on adoptera une tension alternative efficace
- » **double** de la tension de fonctionnement à l'usine.
- » Cette tension sera aussi bien appliquée entre conducteurs
- » **qu'entre** conducteurs et armatures.
- » **Pour** les essais après pose, on adoptera une tension alternative
- » **efficace** qui sera la tension de service majorée de 25 pour 100.
- » Les indications qui précèdent s'entendent à la fois pour installations à courant continu et alternatif. »



31347 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, quai des Grands-Augustins, 55.

SUR L'ÉTAT ACTUEL DE LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL PAR ONDES HERTZIENNES.

M. FERRIÉ. — « Depuis le Congrès international des Électriciens de 1900, auquel nous avons eu l'honneur de présenter, en collaboration avec M. Blondel, un Rapport sur l'état de la Télégraphie sans fil, la question n'a pas fait de progrès bien considérables, au point de vue théorique surtout. Cependant plusieurs expérimentateurs sont parvenus à réaliser un véritable accord entre les organes transmetteurs et récepteurs de deux stations correspondantes, et à augmenter ainsi notablement les distances de communication. Avant d'entrer dans le détail de ces perfectionnements, nous rappellerons sommairement les étapes successives et le principe de la Télégraphie sans fil ainsi que les principales théories émises jusqu'à ce jour pour en expliquer le fonctionnement.

HISTORIQUE.

» L'historique de la Télégraphie sans fil ayant été exposé ici même d'une manière très complète, dans une très intéressante conférence de M. Voisenat, nous nous bornerons à indiquer les dates des progrès importants du nouveau moyen de communication.

» De 1895, date des premiers essais de M. Marconi, à 1899, aucun perfectionnement notable n'a été apporté par les divers expérimentateurs; les distances franchies n'ont guère dépassé une cinquantaine de kilomètres.

» De 1899 à 1900, M. Marconi put réaliser un transformateur spécial amplifiant l'effet des ondes recueillies sur le cohéreur; les communications furent alors établies à des distances supérieures à 100^{km}.

» Enfin, de 1900 à l'époque actuelle, MM. Marconi et Slaby sont parvenus tous deux, par des moyens différents, à accorder (syntoniser) les organes récepteurs et transmetteurs de deux stations correspondantes. Les distances franchies ont été considérablement augmentées, surtout par M. Marconi, qui a pu correspondre entre la France et la Corse (175^{km}), entre l'île de Wight et la pointe

Lizard (310^{km}) et entre la Sardaigne et les environs de Rome (300^{km}). On dit même que quelques signaux transmis de la pointe Lizard ont été reçus par M. Marconi à Terre-Neuve, à 5000^{km}, mais le fait n'a pas été contrôlé (1).

» Les résultats obtenus par M. Marconi ont tenté bien des expérimentateurs et de laborieuses recherches sont poursuivies de tous côtés, mais la très grande difficulté matérielle de réaliser des expériences, par suite des coûteuses installations nécessaires, et la complexité propre de la question n'ont permis qu'à de rares privilégiés de lui donner une impulsion utile.

Les perfectionnements nouveaux dus à la syntonie ayant entraîné une certaine complication dans les appareils, nous rappellerons sommairement les principes de la Télégraphie sans fil et les théories émises au sujet du transport d'énergie qu'elle utilise, en nous appuyant seulement sur les dispositifs simples employés dans les premières expériences.

PRINCIPE.

» Si l'on produit des oscillations dans un conducteur métallique (antenne) dont l'extrémité supérieure est maintenue à une certaine distance du sol et dont l'extrémité inférieure est en communication avec le sol, ces oscillations communiquent à l'éther ambiant un mouvement vibratoire qui se propage dans toutes les directions par ondes hertziennes. Un conducteur métallique analogue au premier et de dimensions quelconques, mais placé à une distance convenable, se comportera comme un résonateur de Hertz, et sera aussi, en vertu du phénomène de la résonance multiple, le siège d'oscillations électriques de période constante, c'est-à-dire ne dépendant que de ses dimensions, quelle que soit la période des oscillations transmises. En produisant, d'une manière analogue à la Télégraphie optique, des séries longues et courtes d'oscillations dans l'antenne d'émission, on lancera dans l'espace des séries longues ou courtes d'ondes hertziennes, c'est-à-dire des points et des traits représentant par leurs combinaisons les signaux Morse. Ceux-ci seront repro-

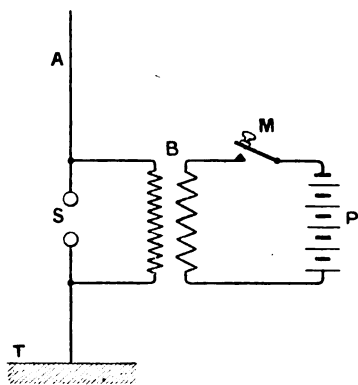
(1) Le signal conventionnel choisi était, paraît-il, la lettre *s* (3 points). On ne peut s'expliquer ce choix, attendu que les signaux parasites dus aux influences atmosphériques se traduisent généralement par deux ou trois points.

duits par les oscillations de l'antenne de réception, et, si l'on dispose des instruments nécessaires, ils pourront être rendus perceptibles à nos sens. Une station complète de télégraphie sans fil devra donc comprendre les organes nécessaires à la production des oscillations, les organes nécessaires à la traduction des oscillations reçues en signes perceptibles à nos sens, et enfin une antenne qui sera alternativement utilisée pour la transmission et la réception.

» Le dispositif le plus simple est disposé schématiquement de la manière suivante :

» *Transmission* (fig. 1). — Dans le système antenne terre, on intercale, au voisinage du sol, un oscillateur S. Celui-ci est relié aux

Fig. 1



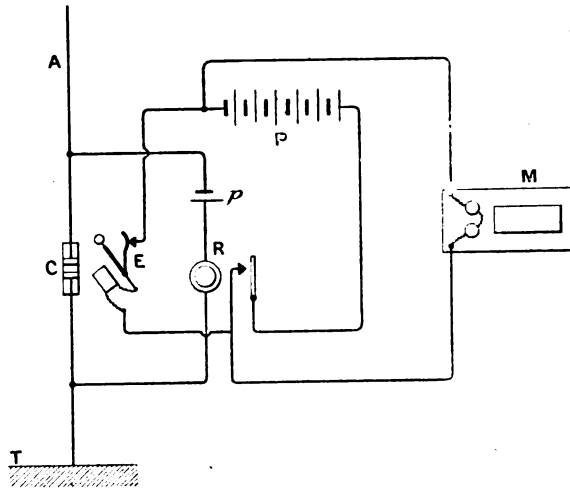
bornes du secondaire d'une bobine d'induction B dans le primaire de laquelle est intercalée une clef Morse M. L'antenne et le sol constituent ainsi les deux armatures d'un condensateur entre lesquelles est placé l'oscillateur. Ce condensateur est chargé à chacune des interruptions de l'interrupteur de la bobine et sa décharge est oscillante. L'antenne sera donc le siège d'oscillations énergiques. (Nous laisserons de côté pour le moment la question de leur période).

» Si l'on ferme plus ou moins longtemps au moyen de la clef Morse le circuit primaire de la bobine, on produit dans l'antenne des séries longues ou courtes d'oscillations et par suite, dans l'espace, des signaux Morse en ondes hertziennes.

» *Réception* (fig. 2). — L'organe généralement employé pour

traduire en signes perceptibles à nos sens les oscillations induites dans l'antenne de réception, est le cohéreur ou radioconducteur de Branly, dont nous ferons tout à l'heure une étude détaillée. Cet instrument est intercalé dans l'antenne au voisinage du sol, et l'on place en dérivation à ses extrémités un circuit comprenant un élé-

Fig. 2.



ment de pile p et un relais R . Le contact de ce relais commande un autre circuit comprenant une pile P , un tapeur E et un Morse M , ces deux appareils étant en dérivation l'un sur l'autre.

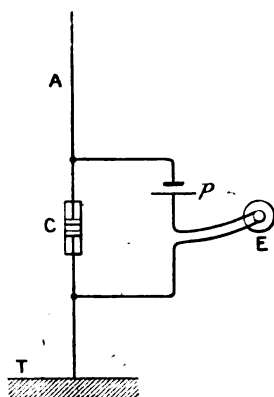
» Lorsque l'antenne est parcourue par des oscillations, le cohéreur est aussitôt actionné et rendu conducteur. Le courant de l'élément de pile p le traverse et vient actionner le relais. Le contact de celui-ci ferme à son tour le circuit du tapeur et du Morse : le tapeur frappe un coup sur le tube de Branly et le Morse marque un point. Tous les appareils sont donc ramenés à la position de repos. Si des oscillations continuent à se produire dans l'antenne, le cohéreur sera de nouveau rendu conducteur, le tapeur donnera un autre coup sur le tube et le Morse marquera encore un point et ainsi de suite. Une série courte d'oscillations sera donc traduite sur le Morse par un point, et une série longue par une série de points rapprochés. En réalité, cette série de points est transformée en un trait au moyen de petits artifices de montage que nous indiquerons tout à l'heure;

nous faisons également abstraction, pour le moment, d'un certain nombre d'organes supplémentaires.

» Ainsi donc les points et les traits produits par la clef Morse du poste transmetteur seront traduits par des points et des traits sur la bande de l'appareil Morse du poste récepteur, tout comme dans une installation télégraphique ordinaire.

» Si l'on fait usage de cohéreurs ou antiohéreurs autodécohérants, le relais est remplacé (*fig. 3*), soit par un simple écouteur téléphonique E, soit par une petite bobine d'induction de poste mi-

Fig. 3.



crophonique dont le primaire est en série avec le cohéreur et la pile, et le secondaire fermé sur un écouteur téléphonique. Toute variation de conductibilité du cohéreur sera traduite par un son dans le téléphone. Chaque série longue ou courte d'oscillations sera traduite par des sons plus ou moins prolongés dans le téléphone et on lira les signaux Morse *au son*. Il y a lieu de remarquer que chacun des sons élémentaires du téléphone correspond à toute la série d'oscillations produite par une interruption à la bobine de transmission. La hauteur du son correspond donc à la fréquence de l'interrupteur de la bobine.

THÉORIES DE LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL.

» De nombreuses théories ont été émises pour expliquer le mécanisme du transport d'énergie utilisé par la Télégraphie sans fil : certains auteurs admettent qu'il y a simplement induction électromagnétique entre les conducteurs verticaux constituant les antennes

de réception et de transmission. D'autres ont invoqué un effet de capacité électrostatique entre ces deux conducteurs, ou bien un phénomène de conduction par le sol, ou encore une simple propagation d'ondes hertziennes dans l'air, etc.

» Nous résumerons seulement les idées émises par MM. Blondel, Righi et Slaby.

» M. Blondel admet que le phénomène est un mélange de plusieurs effets dont l'un ou l'autre prédomine suivant le cas. Tout d'abord, l'antenne mise à la terre constitue avec celle-ci un oscillateur très puissant par sa capacité et très efficace par la façon dont il polarise les ondes. Des oscillations électriques se produisent le long de l'antenne à laquelle la force électrique est normale et ébranlent l'éther voisin. De là naissent des ondes qui se propagent dans tout l'éther environnant; elles sont polarisées et de révolution autour de l'antenne. Les lignes de force électriques sont dans des plans méridiens et aboutissent normalement à la terre; le sol jouant un rôle de miroir par rapport à l'antenne, le système antenne-terre est équivalent à un excitateur de Hertz vertical de longueur double; les lignes de force magnétiques sont des cercles ayant l'antenne pour axe, et celles qui sont près du sol semblent glisser le long de sa surface. Mais, par suite de cette polarisation et de l'effet de concentration maxima de l'énergie dans le plan équatorial, la densité électrique sera plus forte à la surface du sol qu'à une certaine distance; l'antenne réceptrice, coupée aux divers points de sa hauteur par les lignes de force magnétiques, est le siège d'une force électromotrice résultante proportionnelle à l'intensité du champ et à la rapidité des oscillations qui agissent sur le cohéreur.

» M. Righi, reprenant une idée de M. Della Riccia, affirme que les ondes émises sont certainement réfléchies par le sol et que l'effet observé sur l'antenne de réception est celui qui résulte de l'interférence entre les ondes directes et les ondes réfléchies; la réflexion des ondes complète l'oscillateur en ajoutant à l'antenne existante son image électrique. Cette théorie, qui paraît confondre avec une réflexion réelle l'application de l'emploi des images électriques faite par M. Blondel, comme on vient de le rappeler, est impuissante à expliquer les communications obtenues à des distances supérieures à 300^{km} entre des stations situées au niveau de la mer,

c'est-à-dire dans une position telle que la ligne joignant les sommets des antennes passait à plusieurs centaines de mètres au-dessous du niveau de la mer.

» M. Slaby, dans une conférence récente, applique aux antennes de transmission et de réception une formule simple d'induction mutuelle de deux fractions de circuits parallèles, de longueur l , de distance a ; la période des oscillations produites dans l'un étant T et leur intensité moyenne J , l'intensité du courant induit dans l'autre est proportionnelle à $\frac{lJ}{aT}$ et la distance de transmission à $\frac{lJ}{T}$; l et J étant à peu près constants, la distance de transmission est proportionnelle à $\frac{1}{T}$. La fréquence étant très grande, la distance de transmission est également très grande.

» Il convient tout d'abord de remarquer que cette explication est totalement en défaut dans le cas de deux antennes perpendiculaires, ce qui est le cas de deux antennes inclinées de 45° sur leur mât, l'une à droite, l'autre à gauche, et pourtant les communications obtenues dans ce cas sont excellentes. De plus, on ne s'explique pas l'inefficacité d'antennes horizontales. Enfin il a été constaté, comme on le verra tout à l'heure, que la longueur d'onde des oscillations obtenues par les dispositifs décrits plus haut est égale à quatre fois la hauteur d'antenne, c'est-à-dire $l = \frac{VT}{4}$. Si l'on remplace l par cette valeur dans la formule de M. Slaby, on arrive exactement à la conclusion inverse de la sienne.

» M. Slaby s'appuyant aussi sur l'image des antennes verticales indiquée plus haut, admet que la terre fournit une seconde voie pour la transmission des oscillations électriques. Il ne s'agirait dans ce cas que des variations de tension, c'est-à-dire de modifications de lignes équipotentiellles du sol; aucune constatation directe ne vient appuyer cette manière de voir. Ces théories, pas plus que d'autres et en particulier celle de M. Broca, ne permettent pas de rendre compte d'une manière bien précise des phénomènes observés; aussi ne les discuterons-nous pas plus complètement et nous bornerons-nous à exposer les faits principaux qui pourraient servir de repères pour l'établissement d'une théorie complète. Une grande partie de celles de nos expériences que nous aurons l'occasion de

citer ont été étudiées avec la précieuse collaboration de M. Blondel et du commandant Boulanger.

» *Expériences sur le rôle de l'antenne.* — La transmission étant faite avec le dispositif indiqué plus haut, c'est-à-dire avec oscillateur embroché sur le système antenne-terre, on a reconnu que c'était la capacité de l'antenne par rapport au sol qui réglait la période des oscillations produites par l'oscillateur, et non la capacité des boules de celui-ci comme on l'avait cru tout d'abord. On a pu vérifier que l'antenne présentait, en son sommet, un ventre de force électromotrice et un nœud d'intensité, et à sa base, c'est-à-dire au sol, un ventre d'intensité et un nœud de force électromotrice. La vérification de ce fait, qui avait été prévu *a priori*, a été réalisée : pour l'intensité par M. Slaby, en intercalant des lampes à incandescence, qui donnent un éclaircissement maximum près de l'oscillateur, c'est-à-dire près du sol. Les différences de tension ont été mises en évidence par M. Tommasina au moyen de la photographie des effluves, par M. Slaby en intercalant des tubes de Geissler. Nous avons nous-même observé des claquements sonores produits au sommet de l'antenne pendant les oscillations.

» Toutes ces constatations montrent donc que la longueur de l'antenne représente un quart d'onde, mais les oscillations produites ont un amortissement très rapide par suite de la mise à la terre d'une boule de l'oscillateur. Le fait a été démontré en 1899 par M. Lindemann au moyen de la méthode de résonance de Bjerkness, et plus directement en 1901 par la dissociation des étincelles obtenue par la méthode du miroir tournant de Federsen, par M. Tissot; 2 ou 3 franges seulement ont pu être observées à chaque décharge. La longueur d'onde qu'il a été possible de déduire de la mesure de la période, par l'écartement des franges, n'est pas constante d'une oscillation à la suivante et n'est pas exactement égale à quatre fois la hauteur d'antenne. M. Tissot a d'ailleurs constaté une influence très nette de la distance explosive de l'oscillateur sur cette longueur d'onde. Ce défaut de régularité dans les oscillations produites est une gêne pour la réalisation d'un accord entre la transmission et la réception, mais cette difficulté a été évitée au moyen de nouveaux dispositifs que l'on indiquera plus loin.

» D'autre part, tous les expérimentateurs ont constaté que la transmission pouvait être faite à une distance d'autant plus grande, toutes choses égales d'ailleurs, que la distance explosive était plus grande (suivant une loi non encore établie nettement), mais sous condition que l'étincelle fût parfaitement oscillante, ce que l'on reconnaît à son aspect. Nous avons constaté également cet effet, et en particulier que de très longues étincelles donnaient souvent de moins bons résultats que des étincelles plus courtes, mais bien oscillantes. Il semblerait qu'il y a un accord à établir entre la distance explosive et la longueur d'antenne pour obtenir une bonne étincelle; ceci est rendu vraisemblable par l'observation de M. Tissot, relatée plus haut, relative à l'influence, d'ailleurs inexpliquée, de la distance explosive sur la longueur d'onde; il est probablement nécessaire, pour avoir un effet maximum, que la longueur d'onde obtenue en faisant varier la distance explosive soit exactement quatre fois la longueur d'antenne. Nous avons également constaté que la polarité de l'antenne, donnée par la bobine d'induction, avait une influence notable. La longueur d'étincelle obtenue avec antenne négative est plus courte que celle obtenue avec antenne positive, mais est plus efficace que cette dernière.

» L'antenne de réception plongée dans le champ produit par l'antenne d'émission entrera en vibration avec sa période propre, en vertu du phénomène de la résonance multiple, avec production de ventres de force électromotrice à son sommet et au cohéreur. Ce dernier présente en effet, au repos, une résistance suffisante pour que l'antenne puisse être considérée comme isolée. L'une des bornes du cohéreur sera donc soumise à une variation de potentiel maximum, l'autre borne reliée au sol étant au potentiel zéro. Le cohéreur se trouve donc dans de bonnes conditions de fonctionnement.

» Mais, indépendamment de toute considération de ce genre, on a toujours constaté que les communications étaient d'autant meilleures et pouvaient être établies à des distances d'autant plus grandes que les antennes étaient plus hautes. Il convient de remarquer que lorsqu'on augmente la hauteur d'antenne de transmission, sans rien changer aux appareils, la distance explosive que l'on peut obtenir à l'oscillateur décroît presque proportionnellement à la hauteur. La diffusion d'énergie par rayonnement paraît donc jouer un rôle important.

» M. Marconi a déduit de ses premières expériences, faites avec le dispositif primitif, la loi ci-après :

$$H = \alpha\sqrt{D},$$

dans laquelle H est la hauteur d'antennes de réception et de transmission supposées égales, D la distance et α un coefficient qui dépend de toutes les autres variables du problème : bobines, terre, cohéreur, etc.

» Nous avons vérifié cette loi avec M. Blondel, mais nous avons constaté que l'avantage d'avoir des antennes égales était assez faible et qu'en employant des antennes inégales la loi empirique pourrait s'énoncer ainsi :

$$H = \alpha\sqrt{D}$$

avec

$$H = \frac{h + h'}{2} \quad \text{et} \quad \frac{h}{h'} > \lambda,$$

λ étant une limite qui dépend des distances, de l'énergie, etc.

» Nous n'avons pas tenu compte, dans tout ce qui précède, de la forme et de la direction de l'antenne. En réalité, ces facteurs sont de peu d'importance tant qu'il s'agit seulement de fils ou de câbles. Nous avons constaté que les résultats obtenus sont sensiblement les mêmes lorsqu'on emploie des antennes en fil isolé ou en fil nu d'épaisseur variant de 1^{mm} à 4^{cm} ou 5^{cm}. Mais au delà de cette limite l'influence commence à devenir sensible, et avec des tuyaux métalliques de 0^m,50 à 1^m,50 de diamètre on peut réduire très notablement les hauteurs d'antennes nécessaires pour communiquer à une distance déterminée. M. Marconi a pu, en particulier, correspondre à 40^{km} ou 50^{km} en mer avec des tuyaux de 1^m,50 de diamètre et de 9^m de hauteur, alors qu'il lui fallait, pour la même distance, des antennes filiformes de 30^m ou 40^m. Cependant il résulte, contrairement à ce que l'on pouvait croire, des mesures de M. Tissot que la capacité d'une antenne de très large diamètre par rapport au sol n'était pas considérablement plus grande que la capacité d'une antenne filiforme de même hauteur; et, en effet, on constate que la distance explosive que l'on obtient à l'oscillateur est bien loin de décroître proportionnellement aux surfaces des antennes.

» L'inclinaison de celles-ci n'a que très peu d'influence, à hau-

teur constante; nous avons pu communiquer très correctement avec des antennes inclinées à 45° et au-dessous, alors même qu'elles étaient dirigées en sens inverse par rapport à la ligne des postes.

» *Rôle de la terre.* — On a vu que, pour la transmission et la réception, il fallait mettre à la terre un des pôles de l'oscillateur ou du cohéreur, et l'expérience montre que les résultats sont d'autant meilleurs que le fil de connexion avec la terre est plus court et que la prise de terre est plus large. Cette influence de la qualité de la prise de terre décroît d'ailleurs avec la hauteur d'antenne employée, c'est-à-dire avec la longueur d'étincelle. Nous avons entrepris des expériences spéciales pour nous rendre compte exactement du rôle de la terre à la transmission et à la réception.

» Nous avons tout d'abord, dans ce but, supprimé toute connexion de l'oscillateur avec le sol. De plus, tous les appareils, bobines, accumulateurs, etc., avaient également été soigneusement isolés. Toutefois, la prise de terre avait été remplacée par une communication avec des feuilles métalliques suspendues à des piquets au moyen de cylindres d'ébonite et maintenues à 2^m environ du sol, horizontalement d'abord, verticalement ensuite. Ainsi qu'il fallait s'y attendre, la longueur d'étincelle obtenue à l'oscillateur était d'autant plus courte que la surface métallique était plus grande. Pour obtenir une communication comparable à celle que l'on avait obtenue avec une prise de terre, il a fallu doubler la hauteur d'antenne de transmission, la prise de terre étant remplacée par 5^m de clinquant.

» Le poste récepteur, étant installé dans les conditions ordinaires, enregistrait même encore quelques signaux quand on supprimait sa propre prise de terre sans toucher aux autres appareils. En augmentant la hauteur d'antenne de réception dans des proportions analogues à celles de l'antenne de transmission, on pouvait parfaitement communiquer sans liaison avec le sol à la transmission ni à la réception, la prise de terre étant remplacée par des feuilles métalliques isolées.

» De plus, lorsque la transmission est faite avec mise à la terre de l'oscillateur, il est possible de recevoir très correctement, en laissant l'autre borne du cohéreur entièrement libre sans connexion

avec la terre ni avec les plaques métalliques, sans rien changer aux hauteurs d'antennes, à une distance supérieure à la moitié de la distance que l'on pourrait franchir avec prise de terre pour le cohéreur. Ainsi on recevait très correctement dans les environs de Paris, dans une station sans prise de terre, à une distance de 34^{km} d'une autre station où la transmission était faite avec prise de terre et 1^{cm} d'étincelle. Les antennes avaient 100^{m} de longueur, mais quelques mètres seulement se voyaient, par suite de l'interposition de notables accidents de terrain. Avec prise de terre aussi à la réception, la communication était possible encore à 43^{km} ; nous n'avons pas essayé plus loin.

» De même en mer on recevait, sans liaison du récepteur avec le sol, à 35^{km} ou 40^{km} , les hauteurs d'antennes étant d'environ 40^{m} .

» Il résulte donc de ces expériences que la mise en communication des appareils avec la terre n'est pas indispensable, mais qu'elle augmente notablement les distances possibles de communication avec des moyens déterminés.

» Nous avons également cherché à nous rendre compte de la répartition du champ créé par l'antenne de transmission dans le sens de la hauteur à diverses distances. Dans ce but, une station munie d'une antenne de 100^{m} de long, maintenue par un ballonnet, fut installée en un point déterminé. La transmission était faite au moyen d'une petite bobine donnant environ 1^{cm} d'étincelle sur une pareille antenne. Un poste récepteur fut installé dans la nacelle d'un ballon captif situé à 20^{km} et muni d'une antenne pendante de 200^{m} de longueur; cette antenne était reliée à une borne du cohéreur, l'autre borne étant entièrement libre. Le ballon put être élevé jusqu'à la hauteur maximum de 800^{m} environ, sans que la réception fût interrompue; avec une antenne réceptrice de 100^{m} seulement, la réception cessait à 400^{m} environ de hauteur.

» L'antenne de transmission fut ensuite réduite à 50^{m} , celle de réception ayant encore 100^{m} : on put recevoir encore jusqu'à 800^{m} de hauteur; mais la réception n'eut plus lieu à aucune hauteur, lorsque l'antenne réceptrice fut également réduite à 50^{m} .

» Des expériences analogues furent faites en ballon libre et donnèrent des résultats semblables. Lorsque le ballon était à une trop grande hauteur, on perdait le contact, mais celui-ci était aussi-

tôt repris dès que le ballon s'abaissait. La réception était améliorée lorsqu'on reliait des plaques métalliques à la borne libre du cohéreur.

» Le champ est donc concentré à la surface du sol; mais cela provient probablement de ce que l'antenne de transmission est elle-même placée au voisinage du sol et que l'antenne de réception coupe, par conséquent, un nombre de lignes de force du champ d'autant plus grand qu'elle est plus près du sol. Nous nous proposons de compléter ces expériences en installant également une transmission dans un ballon.

» Il semble résulter de ce qui précède que la terre ne joue nullement le rôle de conducteur entre les deux stations et que son rôle est simplement : 1° de donner à l'antenne de transmission une capacité suffisante pour que l'on puisse obtenir des oscillations puissantes en maintenant une des boules de l'oscillateur au potentiel zéro; 2° de maintenir également une borne du cohéreur au potentiel zéro, de manière à le rendre sensible à la moindre variation de potentiel causée par les oscillations de l'antenne de réception.

» D'autre part, la terre joue un rôle néfaste par l'interposition d'obstacles entre les deux antennes, d'autant plus néfaste que ces obstacles sont hérissés de conducteurs verticaux, arbres, carcasses métalliques de maisons, etc., et même de corps semi-conducteurs, tels que le bois, qui forment autant d'antennes absorbant une grande partie de l'énergie transmise. On s'explique ainsi la difficulté beaucoup plus grande de communiquer entre stations à l'intérieur des terres qu'entre stations séparées par la mer (1).

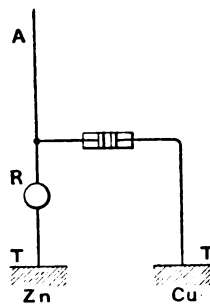
» *Influences électriques parasites.* — En outre des divers rôles énumérés ci-dessus, la terre a encore une part très grande dans la production des perturbations observées par tous les expérimentateurs dans la réception.

(1) Nous avons remarqué que l'on peut encore faire jouer à la terre le rôle de pile pour le cohéreur, en adoptant le montage ci-contre (*fig. 4*). Les deux prises de terre constituent les deux pôles d'une pile suffisante pour actionner le relais, même si elles sont placées à plusieurs centaines de mètres, pourvu qu'elles soient constituées au moyen de métaux différents, zinc et cuivre par exemple. Ce dispositif permettrait, si la terre jouait un rôle de conduction, d'obtenir un maximum d'utilisation de cette conduction.

» Les quelques observations méthodiques que nous avons pu faire nous ont conduits à les classer en trois catégories :

» 1° Enregistrement des décharges oscillantes causées par les coups de foudre. Ces perturbations se font sentir à des distances considérables. Nous avons, en particulier, enregistré, dans les environs de Paris, tout un orage qui se trouvait à Angers à près de 400^{km}; le ciel était absolument pur à Paris. Ces signaux d'orage se présentent généralement sur la bande du Morse par un ou deux points, plus rarement par un trait quand l'orage est très voisin; mais alors, il est

Fig. 4.



prudent de mettre l'antenne à la terre. Ces signaux sont les moins gênants.

» 2° Variations du potentiel de la prise de terre et de l'antenne causées par les variations du champ terrestre. Nous avons observé très fréquemment l'apparition de signaux parasites au moment du coucher du soleil, et leur disparition environ 30 minutes après ce coucher, moment qui correspond, en effet, à une variation notable du champ terrestre.

» On peut faire entrer dans cette catégorie l'effet très sensible des variations locales du potentiel causées par le passage de nuages électrisés.

» Nous avons fréquemment observé la production de traits sur la bande au moment du passage de nuages électrisés.

» Toutes ces observations concordent assez bien avec les faits relatés dans le Rapport de M. Exner, au Congrès international de Physique, sur l'Électricité atmosphérique.

» Suivant que les variations de potentiel sont plus ou moins lentes,

plus ou moins énergiques, elles sont traduites sur la bande du Morse par des points plus ou moins espacés ou par des traits.

» La mise directe de l'antenne de réception à la terre, comme dans les nouveaux dispositifs Marcony et Slaby, permet d'éviter une faible partie de ces perturbations, celles qui se produisent lentement; la charge acquise dans ce cas par l'antenne s'écoule au fur et à mesure à la terre sans variation brusque.

» 3° Enfin, il semble qu'il y ait une relation entre la température et certains signaux parasites qui, dans les pays chauds, commencent à se faire sentir vers 10^h du matin, pour durer jusqu'au soir, avec une intensité telle qu'ils empêchent parfois toute communication. En particulier, pendant les expériences de M. Marconi entre Antibes et Calvi, il n'était plus possible de communiquer à partir de 10^h du matin.

» Toutes ces influences se font sentir d'autant plus que l'antenne est plus haute et que les cohérences sont plus sensibles, et l'emploi de cohérences peu sensibles permet d'en éviter une très notable partie. Ce fait semble prouver que les variations du champ terrestre ne se traduisent que par une faible variation du potentiel entre l'antenne et le sol, la différence de tension critique entre un cohéreur sensible et un cohéreur peu sensible étant de l'ordre de 1 volt. L'emploi de cohérences munis de potentiomètres permettrait peut-être de mesurer, en quelque sorte quantitativement, l'effet des diverses influences dont il est question ci-dessus et de le traduire en différence de potentiel entre l'antenne et le sol.

SYNTONISATION.

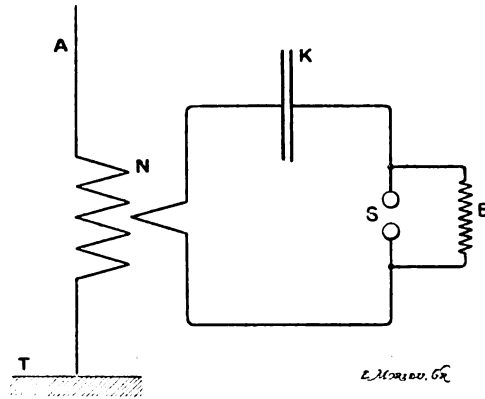
» Les montages que nous avons indiqués précédemment utilisent le phénomène de la résonance multiple, c'est-à-dire l'effet de coups de marteau électriques produits par les oscillations très amorties de la transmission sur le résonateur constitué par l'antenne de réception. On a cherché à obtenir une meilleure utilisation de l'énergie en accordant l'antenne réceptrice sur la période des oscillations émises par l'antenne de transmission. Une première tentative fut faite par M. Marconi qui, sans rien changer au dispositif de transmission que nous avons décrit, construisait pour la réception une sorte de transformateur spécial dont le primaire était en série avec

l'antenne et la terre, et dont le secondaire était intercalé dans le circuit du cohéreur. La longueur et la forme de ces enroulements étaient, paraît-il, fonction des hauteurs d'antennes, c'est-à-dire des périodes. Quoi qu'il en soit du rôle exact de ce transformateur, il est certain qu'il a permis à son inventeur d'augmenter notablement les distances de communication obtenues lorsque le cohéreur était directement relié à l'antenne. En revanche, il ne permettait pas de faire un triage net entre les oscillations transmises avec des périodes différentes.

» Les périodes obtenues à la transmission ne sont d'ailleurs elles-mêmes pas nettes, ainsi que nous l'avons vu plus haut.

» On chercha alors à régulariser cette période et à obtenir un

Fig. 5.



maximum d'énergie utilisée, en diminuant, autant que possible, l'amortissement des oscillations de l'antenne. Deux montages sont actuellement employés, ou plutôt sont actuellement rendus publics. Tous deux sont organisés de telle sorte que l'antenne ne joue plus de rôle notable dans la naissance des oscillations ; celles-ci sont produites en circuit fermé, c'est-à-dire avec des périodes bien nettes et sans amortissement sensible. L'antenne ne sert qu'à transmettre le mouvement vibratoire à l'éther ambiant.

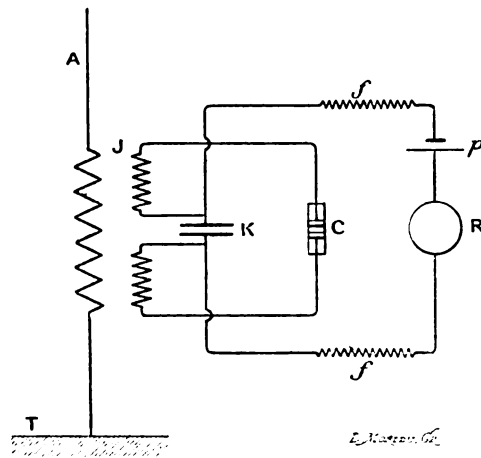
» Le premier de ces dispositifs, employé par M. Marconi, est constitué de la manière suivante (*fig. 5*) :

» Les oscillations sont produites dans un circuit formé de l'oscillateur S, d'une capacité K et du primaire d'un transformateur genre d'Arsonval N.

» Elles ont donc une période bien déterminée $T = 2\pi\sqrt{LC}$, puisque L et C sont également déterminés. Ces oscillations induisent d'autres oscillations dans le secondaire du transformateur, dont une extrémité est reliée au sol et l'autre à l'antenne. Il convient de remarquer que, du moment qu'il se produit encore dans ce cas des ondes stationnaires dans l'antenne, il est nécessaire, pour obtenir une utilisation maximum de l'énergie, que l'on ait un ventre maximum de force électromotrice au sommet de l'antenne, et un nœud au sol; en d'autres termes, les circuits de l'oscillateur et de l'antenne doivent être accordés. On obtient ce résultat en faisant varier par tâtonnement, pour une longueur d'antenne déterminée, la capacité K ou le nombre de tours du secondaire du transformateur.

» Pour syntoniser le récepteur sur la période des oscillations transmises, M. Marconi emploie à la réception un dispositif analogue

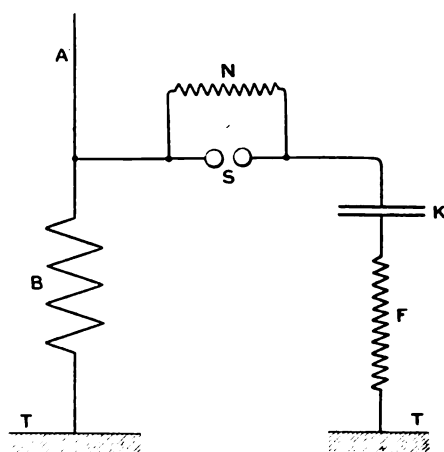
Fig. 6.



à celui de la transmission (*fig. 6*). Le primaire d'un transformateur (*jigger*) est intercalé entre l'antenne et la terre, le secondaire divisé en deux parties et relié par ses extrémités extérieures aux deux bornes du cohéreur et par ses deux extrémités intérieures à celles du circuit pile-relais. De plus, un condensateur de faible capacité K est placé en dérivation sur les extrémités intérieures et deux bobines d'impédance f sont intercalées sur le circuit pile-relais. Pour réaliser l'accord du récepteur avec la transmission, il est nécessaire d'accorder avec la période des oscillations transmises: 1° le circuit

de l'antenne; 2° le circuit cohéreur demi-secondaire condensateur demi-secondaire. Le premier accord se fait facilement en donnant à l'antenne réceptrice une longueur égale à l'antenne de transmission, y compris la longueur des circuits du transformateur qui sont intercalés et dont la capacité et la self sont négligeables, étant donné leur petit nombre de tours de fils. Chacun des demi-secondaires a une longueur sensiblement égale à celle de l'antenne, c'est-à-dire à un quart de longueur d'onde, en tenant compte toutefois de l'effet de la capacité et de la self-induction des deux demi-secondaires, ce qui conduit à raccourcir leurs longueurs. Le primaire du transformateur, se trouvant placé dans le voisinage immédiat du sol, est

Fig. 7.



situé à un nœud de force électromotrice, mais à un ventre d'intensité des oscillations qui prennent naissance dans l'antenne de réception. L'induction sur le secondaire sera donc maximum. D'autre part, comme le cohéreur présente, au repos, une résistance pratiquement infinie, l'ensemble du circuit, secondaire-cohéreur, se trouvera placé dans les conditions d'un résonateur de Hertz : il se formera un ventre de force électromotrice à chaque extrémité; mais, comme chaque demi-secondaire représente un quart de la longueur d'onde transmise, l'ensemble représentera une demi-longueur d'onde. On aura donc une variation de potentiel maximum aux deux bornes du cohéreur et, par suite, une action maximum.

» M. Slaby emploie un dispositif sensiblement différent : Pour la transmission (fig. 7), l'antenne est placée en dérivation sur

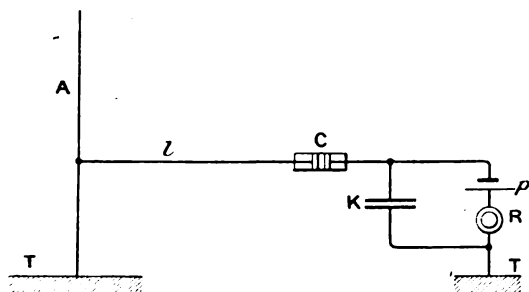
le circuit où prennent naissance les oscillations et qui comprend : l'oscillateur S, une capacité K, une self réglable F et une bobine B à larges spires. En outre, ce circuit comprend une portion du sol entre deux mises à la terre T et T'. Les oscillations sont donc de période bien déterminée, mais vraisemblablement très amorties, par suite de l'interposition d'une partie de sol dans le circuit.

» Pour obtenir dans l'antenne un effet maximum, il est nécessaire d'accorder la période sur la longueur ou inversement. Dans ce dernier cas, on ajoute ou retranche un certain nombre de spires de la bobine B.

» Il y a lieu de remarquer que, si la bobine B présente une forte impédance et si les valeurs de la capacité et de la self F sont choisies de manière à se compenser, on retombe dans le montage ordinaire décrit au commencement de cette étude.

» Pour la réception, M. Slaby emploie un dispositif fort ingénieux (*fig. 8*) ; l'antenne de réception ayant été mise directement à la terre,

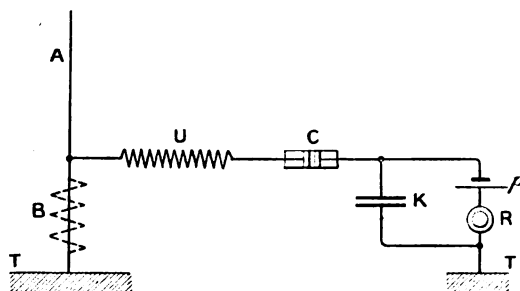
Fig. 8.



on prend une dérivation sur elle dans le voisinage du sol et l'on relie cette dérivation au cohéreur qui est lui-même mis à la terre par son autre borne, par l'intermédiaire d'un condensateur. En dérivation aux armatures de ce condensateur est placé le circuit, comprenant la pile et le relais. Le condensateur K a pour but d'éviter aux oscillations l'impédance du relais. La longueur de la dérivation de l'antenne au cohéreur est réglée de telle sorte que, ajoutée à la hauteur h de l'antenne, elle donne une longueur égale à la demi-longueur de l'onde transmise. On a donc ainsi un effet maximum dans le résonateur formé par l'antenne et la dérivation, et, par suite, une différence de potentiel maximum aux extrémités, c'est-à-dire à une borne du

cohéreur, dont l'autre borne est maintenue au potentiel zéro. On aura, par suite, un maximum d'effet. Ce raisonnement ne paraît pas à l'abri de toute critique, car la mise de l'antenne à la terre a pour effet, semble-t-il, de maintenir un nœud de force électromotrice au point de dérivation, et la longueur l devrait avoir pour valeur un quart de la longueur d'onde transmise pour qu'il y ait un ventre maximum au cohéreur, et alors l'ensemble du résonateur ne représentera plus une demi-longueur de l'onde transmise. C'est vraisemblablement pour faire la correction nécessaire que M. Slaby intercale, entre la dérivation et le sol, une bobine à larges spires (*fig. 9*) : le

Fig. 9.



point de dérivation ne sera plus forcément un nœud et le raisonnement pourra s'appliquer. Quoi qu'il en soit, M. Slaby remplace généralement la dérivation rectiligne par un résonateur Oudin ⁽¹⁾ qui a pour effet, comme on le sait, d'amplifier la force électromotrice variable, grâce à un effet de capacité et de self-induction réparties (*fig. 9*).

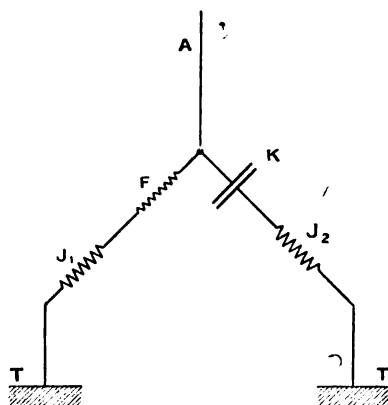
» Les deux dispositifs de MM. Marconi et Slaby permettent, comme on le voit, d'obtenir une utilisation maximum de l'énergie recueillie par l'antenne de réception, grâce à la syntonie réalisée; mais il est évident que ni l'un ni l'autre, par suite du phénomène de résonance multiple, n'empêcheront le récepteur de recevoir des signaux transmis à une période différente, pourvu qu'ils aient suffisamment d'énergie. Cependant l'effet de ces oscillations non accordées sera plus faible que celui des oscillations syntonisées, et la réception ne s'en fera qu'à une distance plus faible. C'est ce que l'expérience a très nettement vérifié. De plus on voit qu'il est possible, au moyen

(1) Ce dispositif avait déjà été indiqué par M. Rochefort.

des deux procédés, de régler un récepteur de manière à lui permettre de recevoir des oscillations d'une certaine période et à ne pas recevoir des oscillations de période très différente, à condition que la transmission de celles-ci ne soit pas faite avec une trop grande énergie ou à une trop faible distance. Néanmoins, MM. Marconi et Slaby sont tous deux parvenus à régler deux récepteurs de manière à leur permettre de recevoir simultanément, au moyen de la même antenne, deux télégrammes différents transmis avec deux périodes très différentes.

» M. Marconi arrive à ce résultat en réglant d'abord chaque

Fig. 10.



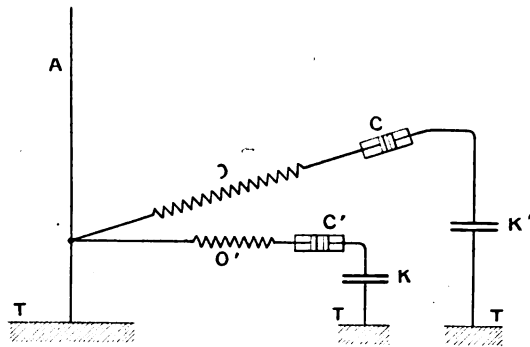
récepteur relié isolément à l'antenne, de telle sorte qu'il enregistre les signaux transmis avec l'une des périodes et non ceux transmis avec l'autre. Ce réglage se fait assez facilement; mais, si l'on relie simultanément les deux récepteurs à l'antenne, il se produit un mélange de signaux dû à ce que, après l'enregistrement de chaque signal, le cohéreur est sursensibilisé très fortement et devient capable d'être actionné par les oscillations de faible énergie, et en particulier par celles pour lesquelles le jigger n'est pas syntonisé. De plus, le circuit formé par les deux dérivations et les prises de terre peut présenter un phénomène de résonance propre qui troublera l'effet de la résonance des deux circuits : antenne-jigger-terre. Pour éviter ces perturbations, M. Marconi intercale sur la connexion (*fig. 10*) du récepteur d'ondes longues une self F , et sur le récepteur d'ondes courtes une petite capacité K . Cette disposition a pour effet

de détruire la syntonie de chacun des circuits antenne jigger-terre pour les deux oscillations transmises, en ne conservant que l'accord des résonateurs (demi-secondaire condensateur demi-secondaire cohéreur) de chacun des récepteurs, pour l'une ou l'autre des périodes transmises. Mais cette destruction de la syntonie est moins complète pour les ondes longues que pour les ondes courtes dans le circuit antenne-self-jigger J₁-terre, par suite de l'impédance de F plus grande pour les ondes courtes que pour les ondes longues. C'est l'inverse pour l'effet de la petite capacité K sur le deuxième circuit. Mais, de plus, l'effet de la self F et de la capacité K est de réduire très notablement l'énergie utilisée et, par suite, les distances possibles de communication.

» Il serait d'ailleurs préférable, dans la pratique, d'avoir autant d'antennes que de récepteurs.

» M. Slaby obtint un résultat analogue, mais à des distances moins considérables, en plaçant en dérivation sur l'antenne commune deux résonateurs Oudin convenablement choisis, reliés chacun à un récepteur (*fig. 11*). Le choix des résonateurs Oudin était fait de

Fig. 11.



manière que l'extrémité postérieure de chacun d'eux fût un ventre de force électromotrice pour l'une ou l'autre des oscillations transmises. Mais, en vertu de l'observation déjà faite plus haut, l'effet obtenu est vraisemblablement meilleur quand les dérivations sont faites en des points différents de l'antenne, au lieu d'être faites toutes deux à sa base, de manière à ne pas avoir forcément un nœud de force électromotrice au point commun de dérivation, ce qui générerait l'établissement des résonances maximums.

» *Syntonie système Blondel.* — M. Blondel a indiqué dès 1898 un autre procédé, qui consiste à accorder ensemble, non plus les fréquences des oscillations électriques propres du transmetteur et du récepteur, mais des fréquences artificielles beaucoup plus basses, tout à fait arbitraires et indépendantes des antennes, à savoir : la fréquence des charges de l'antenne et celles des vibrations d'un récepteur sélectif tel que le monotéléphone de M. Mercadier. Il suffit de maintenir la fréquence de l'interrupteur bien constante et égale à la fréquence propre du récepteur.

» On peut aussi employer, associé au téléphone, un cohéreur ou antiohérateur autodécohérent.

» Chaque groupe d'ondes de haute fréquence, rapidement amorties, agit en bloc, comme une simple percussion, sur le téléphone à vibration lente; celle-ci reste d'ailleurs sensiblement sinusoïdale, grâce à l'inertie.

» On peut aussi remplacer ou renforcer l'élasticité mécanique par une élasticité électrique, en plaçant en dérivation, sur le détecteur d'ondes employé, une capacité calculée de manière à former un circuit en pseudo-résonance avec le poste d'émission.

» Cette méthode se prête à une différenciation facile des signaux dans une station réceptrice, car la syntonie acoustique est plus nette, en général, que la syntonie électrique, mais elle exige l'emploi de cohéreurs autodécohérents encore peu sensibles ou irréguliers qui en limitent actuellement l'emploi à de plus faibles portées.

» Après cette étude d'ensemble des principes théoriques, et avant de décrire l'organisation détaillée d'une station de *télégraphie sans fil*, nous traiterons d'une manière spéciale la question des cohéreurs.

COHÉREURS.

» Avant d'énumérer les conditions auxquelles doivent satisfaire les tubes de Branly employés en télégraphie sans fil et les précautions à prendre pour leur fabrication et leur emploi, il paraît intéressant d'indiquer tout d'abord les différents phénomènes rencontrés dans l'étude des contacts imparfaits des corps conducteurs et mis en évidence principalement par Branly, Blondel, Tommasina, Bose, etc., ainsi que les théories émises pour les expliquer.

» Lorsqu'on rapproche deux corps conducteurs intercalés dans un circuit électrique contenant une certaine force électromotrice et un instrument de mesure, on constate qu'il existe une ou plusieurs positions des corps conducteurs, intermédiaires entre le contact absolu et l'isolement. Cela revient à dire que le contact peut être imparfait et présenter une résistance ni nulle ni infinie. Si l'on soumet un contact imparfait à une perturbation électrique quelconque, ondes hertziennes, augmentation de la force électromotrice du circuit, etc., il peut se produire quatre phénomènes différents :

» 1° La résistance du contact diminue et conserve sa nouvelle valeur. Toutefois, un choc, une élévation de température la ramènent à sa valeur primitive. Les corps conducteurs dont le contact jouit de cette propriété sont généralement appelés *cohérents ordinaires* ou *radioconducteurs*;

» 2° La résistance du contact diminue, mais reprend sa valeur primitive dès que celui-ci est soustrait à l'action de la perturbation électrique. L'instrument est appelé dans ce cas *cohérent autodécohérent*;

» 3° La résistance du contact augmente et conserve sa nouvelle valeur; mais elle reprend sa valeur primitive sous l'action d'un choc ou d'une élévation de température; on a alors affaire aux *anticohérents*;

» 4° La résistance du contact augmente, mais reprend sa valeur primitive dès que l'instrument n'est plus soumis à l'effet de la perturbation électrique : c'est un *anticohérent autodécohérent*.

» *Cohérents ordinaires.* — Les contacts présentant le phénomène de la cohérence ordinaire sont ceux que l'on rencontre le plus fréquemment; on en a construit avec toutes sortes de corps conducteurs, métaux, sulfures, sels, etc., auxquels on a donné des formes variées : limailles, poussières, sphères, plateaux, etc. Les diverses expériences faites ont mis en évidence que la sensibilité de l'instrument était fonction de la nature des conducteurs, de l'état des surfaces en contact, du diélectrique interposé, de la pression des conducteurs, etc., enfin de la différence de potentiel produite normalement entre les corps en contact imparfait par le circuit dans lequel ils sont intercalés. On a reconnu que, pour chaque contact

imparfait, il existait une valeur limite de cette différence de potentiel au-dessus de laquelle le contact n'est plus actionné régulièrement et même ne présente plus de position intermédiaire entre le contact absolu et l'isolement. M. Blondel l'a dénommée *tension critique de cohérence*. Cette tension varie avec la nature des conducteurs en contact, l'état de leur surface, etc. Ce n'est pas une quantité physique précise, à proprement parler, mais une notion empirique utile et répondant aux conditions pratiques d'emploi.

» *Cohéreurs autodécohérents*. — Lorsqu'un ou les deux conducteurs en contact imparfait sont en charbon, on constate que l'instrument reprend sa résistance primitive dès que l'action perturbatrice a cessé. On retrouve également cette propriété avec l'eau acidulée, certains oxydes métalliques, et même accidentellement avec des limailles métalliques. Toutefois on remarque que la résistance offerte au repos par ces contacts est notablement moins grande que pour les cohéreurs ordinaires et, de plus, instable. Il existe généralement plusieurs positions, c'est-à-dire plusieurs valeurs de la résistance du contact, donnant un fonctionnement analogue de l'instrument. La valeur de la tension critique de cohérence n'est jamais bien nette.

» On observe aussi fréquemment, dans le voisinage de la limite, des phénomènes de cohérence persistante. Ceux-ci peuvent aussi être produits par des actions électriques perturbatrices énergiques.

» *Anticohéreurs*. — On constate quelquefois le phénomène d'augmentation de résistance sous une action électrique avec effet persistant, dans l'étude du contact de métaux placés dans des conditions spéciales (feuilles très minces d'or ou d'argent collées sur du verre), et pour des contacts de certains sels; mais le phénomène, assez rare, n'est jamais bien net et n'a pas été l'objet d'études approfondies.

» *Anticohéreurs autodécohérents*. — Lorsqu'on remplace, dans un cohéreur des deux premières catégories, le diélectrique par un électrolyte, on obtient un anticohéreur autodécohérent. Le phénomène est très net lorsqu'on dépose une couche de vapeur d'eau dans l'intervalle très étroit obtenu en divisant en deux parties le tain d'un fragment de miroir, ou quand on remplace l'air par de la glycérine

dans un cohéreur à charbon ou dans un cohéreur à limailles métalliques mêlées de poudres isolantes. Il est irrégulier, avec tendance à la cohérence persistante, pour les cohéreurs à limailles plongées dans la glycérine ou dans l'eau. M. Tommasina a observé qu'avec du potassium plongé dans du pétrole on a un cohéreur autodécohérent si la pression a une certaine valeur, et un antiohéreur autodécohérent pour une autre valeur plus forte de la pression. On peut admettre que, dans le premier cas, c'est le diélectrique, pétrole, qui est interposé entre les conducteurs et que, dans le deuxième cas, c'est l'électrolyte, potasse, qui est seul interposé.

» *Théories.* — Un assez grand nombre de théories ont été émises pour expliquer ces différents phénomènes. Pour M. Branly, le fonctionnement des cohéreurs ordinaires est dû à ce que l'isolant interposé entre les conducteurs est rendu conducteur sous l'influence passagère du courant de haut potentiel, lorsque son épaisseur est suffisamment faible. Les oscillations produiraient une action qui équivaldrait à une diminution d'épaisseur du diélectrique, qui pourrait alors devenir conducteur. Comme le fait observer M. Turpain, cette explication rend bien compte du fonctionnement des cohéreurs autodécohérents, mais est insuffisante pour expliquer celui des cohéreurs ordinaires. On pourrait, il est vrai, ajouter à cette hypothèse, comme plusieurs l'ont proposé, celle que les ondes électriques produisent une sorte de polarisation du diélectrique qui persiste après que l'action a cessé. Mais alors on ne voit pas pourquoi le même fait ne se reproduirait pas avec les cohéreurs autodécohérents. De plus, quelle serait aussi la cause des chaînes de limaille constatées en particulier par M. Tommasina? Enfin elle est impuissante pour les antiohéreurs.

» L'hypothèse de M. Lodge, prévue d'ailleurs auparavant par M. Branly, rend au contraire bien compte de ce dernier phénomène : sous l'action d'ondes électriques, il jaillit entre les conducteurs en contact imparfait de petites étincelles qui entraînent un peu de matière, produisent une petite soudure et assurent ainsi le contact. Un choc aura donc pour effet de rompre ces soudures et de ramener les contacts dans leur situation primitive. Cette explication rend parfaitement compte du fonctionnement des cohéreurs ordinaires,

et elle est confirmée par l'observation de chaînes formées dans les cohéreurs à limailles. Elle peut aussi rendre compte de ce qui se passe dans les cohéreurs à diélectrique solide et dans certains cohéreurs autodécohérents. Dans ce dernier cas, il suffirait d'admettre que les ponts conducteurs formés par la matière sont détruits instantanément, en raison de la nature même des corps conducteurs, charbon, eau acidulée, par exemple. Mais, dans le cas de corps métalliques, tels qu'un fragment de mousse de platine compris entre deux électrodes métalliques, on ne voit pas pourquoi la soudure ne serait pas stable, et pourtant nous sommes arrivés, bien qu'avec une certaine difficulté, à obtenir par ce moyen un cohéreur autodécohérent très sensible. Les instruments de M. Popoff, fragments d'acier oxydé compris entre électrodes de platine, sont dans le même cas.

» M. Righi a fait, en outre, une seconde hypothèse : les grains de limaille sont orientés et amenés au contact sous l'action des ondes électriques. Plusieurs physiciens ont appuyé cette hypothèse par l'observation de réels mouvements de limaille sous l'action d'ondes extrêmement puissantes. Mais il semble que ce fait soit produit par une action secondaire ⁽¹⁾ qui ne se présente pas dans le cas d'ondes de très faible énergie. Nombre d'expérimentateurs ont constaté l'absence absolue de mouvement dans ce dernier cas. Cette hypothèse, qui est d'ailleurs en défaut dans le cas de cohéreurs à billes ou de cohéreurs à diélectrique solide et de cohéreurs autodécohérents, ne rend compte d'aucun phénomène, et elle paraît absolument inutile.

» Aucune de ces explications ne permet, de plus, de se rendre compte du fonctionnement des antcohéreurs.

» M. Tommasina, auquel on doit de remarquables expériences sur cette question, a fait une étude très complète des différents cohéreurs et antcohéreurs, et arrive aux conclusions suivantes : La cause du phénomène de cohérence est une différence de potentiel qui produit un minuscule champ électrostatique, lequel donne lieu à tous les effets connus comme conséquences d'un champ oscillant

(1) Cette action peut être la suivante : lorsque des étincelles nombreuses et puissantes jaillissent entre les grains de limaille, le diélectrique compris entre ceux-ci occupe, pendant la production des étincelles, un volume moindre ; il est donc comprimé et par conséquent peut produire en se détendant un mouvement des limailles.

compliqué par l'action d'un courant continu, lequel est modifié à chaque accroissement instantané du potentiel, c'est-à-dire à chaque oscillation. Cette modification est due à une polarisation qui se propage de grain à grain ; s'il y a possibilité de mouvement, les particules s'orientent, s'alignent, adhèrent ; on a dans ce cas les cohéreurs ordinaires. Lorsqu'il y a des particules d'oxyde ou d'autres poudres plus ou moins diélectriques, celles-ci se polarisent également sous l'action des ondes hertziennes et interviennent en formant des ponts ou des chainons moins conducteurs, ce qui donne lieu à des effets négatifs. Il y a dans ce cas des antiohéreurs autodécohérents. Lorsque la nature même de la substance le permet, les ponts conducteurs sont détruits au fur et à mesure de leur formation et l'on a les cohéreurs autodécohérents. Enfin, si la couche interposée entre les corps en contact imparfait peut subir une action électrolytique, on a encore des antiohéreurs autodécohérents.

» En laissant de côté l'hypothèse inutile, et contredite par certaines expériences, du mouvement des corps en contact imparfait, il semble que toutes les théories exposées plus haut peuvent se concilier de la manière suivante :

» Il convient de faire ressortir, tout d'abord, qu'il n'y a pas lieu de faire intervenir directement, dans la théorie, l'action d'ondes hertziennes, car on obtient des effets identiques en faisant varier, par un moyen quelconque, la différence de potentiel aux extrémités du contact imparfait, par exemple en modifiant la force électromotrice de la pile du circuit dans lequel il est intercalé.

» Pour simplifier l'exposition, supposons que l'on emploie un contact unique, c'est-à-dire formé de deux conducteurs seulement. Le contact imparfait étant plongé dans un diélectrique, si l'on établit une différence de potentiel déterminée entre les deux corps conducteurs, et qu'on les rapproche peu à peu, le diélectrique sera réduit en couche de plus en plus mince entre les deux surfaces en regard. Le petit condensateur ainsi formé augmentera peu à peu de capacité, et l'on conçoit qu'à un moment déterminé il ait la charge maximum qu'il peut supporter, étant donnée la différence de potentiel établie entre ses armatures et l'épaisseur du diélectrique. Si l'on augmente, à ce moment, cette différence de potentiel par un moyen quelconque, le condensateur crève et il se produit une soudure

entre les deux conducteurs, grâce à un entraînement de matière : c'est le cas des cohéreurs ordinaires. Il est vrai que l'on observe souvent que la résistance ne tombe pas d'une valeur pratiquement infinie à une valeur très faible, mais prend une valeur mesurable, bien que très grande, lorsqu'on rapproche convenablement les conducteurs : on peut admettre que sous une couche très mince le diélectrique devient faiblement conducteur, ou, en d'autres termes, que l'on a atteint la limite de cohésion diélectrique de M. Bouty, pour cette épaisseur et la différence de potentiel existante ; avant de livrer passage à l'étincelle, le diélectrique se laisse traverser par un effluve, et l'étincelle ne jaillit que lorsque la différence de potentiel est suffisamment augmentée pour chasser le diélectrique (ce fait a été observé avec des distances explosives notables et de hauts potentiels). Suivant l'adhérence du diélectrique aux conducteurs, cet effluve peut être plus ou moins renforcé, à mesure que l'on augmente la différence de potentiel, avant de livrer passage à l'étincelle.

» Lorsque cette limite est suffisamment étendue, grâce à la nature des corps employés, une augmentation faible de potentiel sera suivie d'une augmentation de l'effluve, et, par suite, de la conductibilité du contact, avec retour à l'état initial, grâce à l'élasticité du diélectrique, lorsque la différence de potentiel sera ramenée à sa valeur primitive ; c'est le cas des cohéreurs autodécohérents ⁽¹⁾.

» A l'appui de cette manière de voir sur l'influence de l'adhérence du diélectrique avec les conducteurs, nous citerons l'expérience qui

(¹) La conductibilité du diélectrique dans ces conditions paraît être démontrée par l'expérience ci-après, que nous avons déjà publiée au Congrès des Électriciens de 1900 :

Une rondelle de charbon très dur, parfaitement polie, étant fixée sur une petite planchette légère, en même temps qu'une potence en cuivre dont l'extrémité, filetée, livre passage à une vis micrométrique sur la tête de laquelle est fixée horizontalement une longue tige métallique et dont la partie inférieure est munie d'un fragment de métal inoxydable, argent ou or, on intercale la potence et la rondelle dans un circuit comprenant un élément de pile, un milliampèremètre et une petite bobine d'induction de poste microphonique. Le secondaire de celle-ci est fermé sur un écouteur téléphonique ordinaire posé sur la même table et à petite distance de la planchette ci-dessus. En rapprochant, au moyen de légers coups donnés sur la tige horizontale, le fragment d'or de la rondelle de charbon, on constate qu'à un moment donné le téléphone rend

consiste à faire un cohéreur au moyen d'un fragment de mousse de platine compris entre deux électrodes métalliques : le cohéreur obtenu est autodécohérent, alors qu'on obtient toujours un cohéreur ordinaire avec un fragment de platine fondu. De plus, sauf dans certains cas où le phénomène a un caractère fugace, les cohéreurs décohérents sont obtenus au moyen de corps ayant une porosité considérable, le charbon par exemple, c'est-à-dire de corps dont les surfaces pénètrent, en quelque sorte, le diélectrique.

» Lorsqu'on remplace le diélectrique par un électrolyte, celui-ci est plus ou moins décomposé suivant la différence de potentiel existante ; les gaz mis en liberté augmentent la résistance, et l'on a, dans ce cas, des antiohéreurs. Avec tous les électrolytes liquides on observe l'autodécohérence, les gaz s'échappent aussitôt après leur mise en liberté. Si, au contraire, on opère avec des électrolytes solides, la cohérence négative ou augmentation de résistance persiste, les gaz produits restant adhérents aux conducteurs. Il existe d'ailleurs très peu de corps permettant d'obtenir l'antiohérence persistante. Si l'électrolyte employé est l'eau, celle-ci se comporte, tantôt comme diélectrique, tantôt comme électrolyte, et l'on observe tantôt des phénomènes de cohérence persistante, tantôt des phénomènes d'antiohérence autodécohérente.

» Tous les faits observés dans l'étude des contacts imparfaits peuvent être expliqués par les hypothèses que nous venons d'exposer.

» *Construction de cohéreurs pour la télégraphie sans fil.* — On a essayé de se servir, pour la télégraphie sans fil, de toutes les espèces

un son musical très fort et très net qui persiste pendant longtemps sans que l'on touche à aucune partie du dispositif. Le son varie parfois de hauteur et d'intensité suivant la position du téléphone sur la table et la nature du métal constituant le contact imparfait. Mais le son ne se produit pas lorsque le téléphone n'est pas posé sur la table. Il est donc dû à la transmission des vibrations du téléphone au contact imparfait. Nous avons intercalé dans le circuit un oscillographe Blondel et constaté que l'intensité du courant n'était jamais nulle et que la courbe inscrite était une sinusoïde régulière à grande amplitude, mais dont les minimums étaient parfois à une distance très grande de la ligne des zéros. Quelquefois ces minimums sont eux-mêmes situés sur une sinusoïde à fréquence beaucoup plus faible, mais parfaitement régulière.

Ce phénomène paraît pouvoir s'expliquer par la variation d'épaisseur du diélectrique interposé, variation causée par les vibrations transmises ; le diélectrique, sous ces faibles épaisseurs, se comportant comme un conducteur.

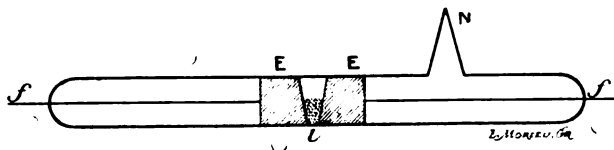
de contacts imparfaits; actuellement encore trois sortes d'instruments sont employés: les cohéreurs ordinaires, les autodécohérents au charbon et les antiohérents autodécohérents à l'eau. Mais ces deux dernières espèces ont un fonctionnement irrégulier et ne se prêtent pas à l'emploi d'un relais et par suite à l'inscription des télégrammes; aussi sont-ils beaucoup moins employés que les premiers, bien que leur sensibilité soit parfois très grande, supérieure même à celle de certains cohéreurs ordinaires. Nous ne nous occuperons donc ici que de la construction de ces derniers.

» Un grand nombre de types de cohéreurs de ce genre ont été proposés et expérimentés de tous côtés: cohéreurs à limailles, cohéreurs à billes, cohéreurs à contact unique, etc. Ce sont les cohéreurs à limailles qui ont toujours donné les meilleurs résultats.

» Les conditions auxquelles doit satisfaire un cohéreur pour la télégraphie sans fil sont la sensibilité et la régularité, c'est-à-dire qu'il doit présenter une chute maximum de résistance pour une augmentation minimum de différence de potentiel, avec un retour régulier et certain à sa résistance primitive, au moindre choc. Ces deux conditions sont difficiles à réunir simultanément. Nous allons examiner les causes qui influent sur chacune d'elles.

» La forme de cohéreur la plus généralement employée est celle qu'avait choisie tout d'abord M. Branly (*fig. 12*). Dans un tube en

Fig. 12.



verre sont ajustées deux électrodes métalliques placées à une distance comprise entre 0^{mm}, 5 et 1^{mm}; de la limaille métallique fine et régulière est placée entre ces deux électrodes. Tout d'abord l'expérience montre que la sensibilité de l'instrument ne dépend pas de ses dimensions et très peu de l'écartement des électrodes, dans certaines limites cependant. Ce dernier fait tend à prouver que les contacts utiles sont ceux des limailles avec les électrodes et non des limailles entre elles. En revanche, la sensibilité dépend tout d'abord de la nature des métaux en contact, de leur degré d'oxydation et de la

finesse des limailles ; cette finesse ne doit pas cependant dépasser certaines limites, car, avec des poussières, les résultats sont très irréguliers. L'influence de la nature des métaux constituant les limailles et les électrodes est considérable. Il est nécessaire et suffisant, pour un usage pratique, que l'un des deux soit légèrement oxydable, sans quoi les tensions critiques seraient trop faibles. La pression exercée par la limaille sur les électrodes a également une grande importance : si la pression est trop faible, l'instrument est peu sensible ; si elle est trop forte, il est conducteur en permanence. Cette pression peut être réglée, soit par la quantité de limaille, soit par l'effet d'un champ magnétique, lorsque la limaille et les électrodes sont faites de métaux magnétiques (Tissot).

» Enfin, la différence de potentiel normalement établie entre les électrodes, par le circuit dans lequel est intercalé l'instrument, influe également sur sa sensibilité, surtout si l'on fait varier en même temps la quantité de limaille (Blondel).

» La sensibilité la plus grande est obtenue pour les différences de potentiel minimums avec la pression la plus grande que l'on peut donner aux limailles, c'est-à-dire pour la différence de potentiel la plus voisine de la tension critique de cohérence.

» La régularité de fonctionnement des cohérences dépend des mêmes causes que la sensibilité, mais en sens inverse, en ce qui concerne le retour certain à la résistance primitive par le moindre choc. On conçoit en effet qu'un cohéreur est d'autant plus sensible qu'il est placé au repos dans des conditions où il lui faudra la variation la plus faible du potentiel pour l'actionner ; mais, après cette action, le choc, toujours brutal, destiné à le ramener au repos, peut augmenter par exemple le tassement des limailles, de telle sorte que l'appareil est de nouveau rendu conducteur quand celles-ci ont repris l'immobilité. Cependant, une des conditions qui influent sur la sensibilité influe dans le même sens sur la régularité : c'est la différence de potentiel établie normalement entre les bornes des électrodes. En effet, plus cette différence sera faible, moins grande sera la force électromotrice de self-induction $L \frac{di}{dt}$ qui prend naissance dans le circuit, lorsque le choc du marteau rompt le courant, puisque l'intensité de ce dernier sera d'autant plus faible. Cette force électromo-

trice de self-induction a souvent une valeur suffisante pour dépasser la tension critique du cohéreur et, par suite, pour le réactionner et lui faire *trainer* les signaux. Nous verrons plus loin que l'on peut, dans un récepteur de télégraphie sans fil, soustraire le cohéreur à l'influence de cette force électromotrice de self-induction.

» Enfin, un cohéreur de télégraphie sans fil doit avoir la plus longue durée possible; il est nécessaire pour cela qu'il ne contienne pas du tout de vapeur d'eau, qui oxyderait les métaux et diminuerait notablement sa sensibilité. Il est aussi préférable de faire le vide, ou de remplir le cohéreur d'un gaz inerte pour soustraire les métaux à l'action de l'oxygène. Pourtant, l'expérience nous a montré que cette précaution n'était pas indispensable lorsque l'air contenu dans le cohéreur était parfaitement sec. De plus, le cohéreur ne doit pas être traversé par des courants de trop forte intensité, dont l'action est de modifier le degré d'oxydation des métaux. L'emploi de faibles différences de potentiel permet encore de satisfaire à cette condition.

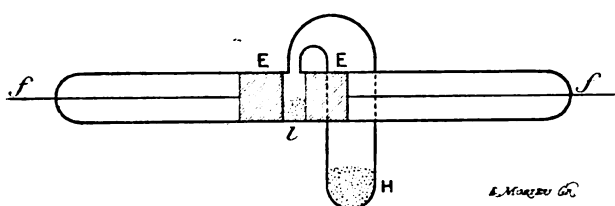
» La difficulté d'obtenir des cohéreurs à la fois très sensibles et réguliers a conduit la plupart des expérimentateurs à se contenter de peu de sensibilité. M. Marconi emploie des cohéreurs à limaille de nickel comprise entre électrodes de maillechort (*fig. 12*). Le vide est fait à l'intérieur de ces instruments, qui sont employés sous 1,5 volt; mais le récepteur est constitué de telle sorte qu'il ne passe jamais dans l'instrument qu'une très faible intensité, un dixième de milliampère environ. M. Slaby emploie des cohéreurs à vide et à limaille d'argent ou de nickel sous 1,5 volt également. M. Tissot préconise l'emploi de cohéreurs à vide et à limaille de fer, comprise entre électrodes de fer; la pression de la limaille est réglée par un petit aimant dont les lignes de force sont parallèles à l'axe du tube. Les électrodes sont taillées en biseau.

» M. Ducretet construit des cohéreurs démontables, dans lesquels la pression de la limaille peut être réglée par le déplacement de l'une des électrodes.

» M. Blondel, après avoir montré les avantages que présente l'emploi de bas voltage sur potentiomètre réglable, a construit des cohéreurs à vide munis d'une poche en verre pleine de limaille. On peut ainsi faire varier à volonté la quantité de limaille comprise entre les électrodes, et la retirer lorsque l'instrument n'est pas employé (*fig. 13*).

» Nous avons légèrement modifié la forme de ce cohéreur (*fig. 14*) en en conservant le principe, de manière à le rendre moins fragile et plus commode à fixer. La réserve de limaille est contenue dans un évidement H pratiqué dans l'une des électrodes, et une encoche *r* ménagée suivant une génératrice permet de faire passer la limaille pour l'introduire dans l'espace utile *l*. Tube, électrodes et limaille sont parfaitement séchés et le tube fermé à la cire; les deux extrémités sont protégées par des douilles métalliques munies de petites bornes *v*, auxquelles viennent s'attacher les fils des électrodes, qui

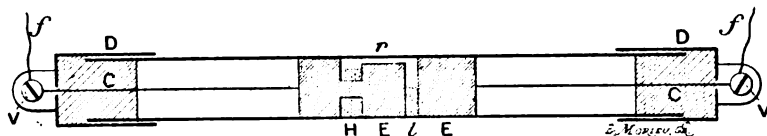
Fig. 13.



permettent d'intercaler facilement l'instrument dans un circuit.

» Nous employons, suivant la sensibilité à atteindre, des limailles d'or ou d'argent alliées de cuivre en proportions variables, d'or ou d'argent vierge, comprises entre électrodes de maillechort. L'or vierge donne les cohéreurs les plus sensibles. Ces instruments sont

Fig. 14.

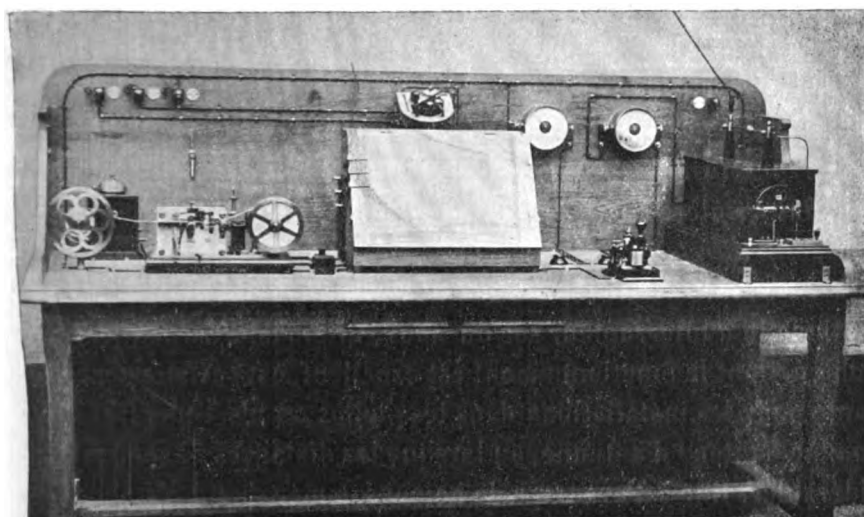


employés sous le voltage de 0,2 volt à 1 volt, suivant leur construction. Un potentiomètre spécial très simple est toujours intercalé dans le circuit, et permet de faire varier le voltage aux bornes du cohéreur, de manière à lui donner une valeur aussi voisine que possible de la tension critique de cohérence. On peut donc, en faisant varier la quantité de limaille et le voltage, faire varier la sensibilité du cohéreur. On dispose, par suite, d'un moyen de mesurer approximativement l'énergie à laquelle est soumis le cohéreur, en jugeant de la sensibilité qu'il faut lui donner pour qu'il soit actionné.

» *Organisation détaillée d'une station de télégraphie sans fil.* — II

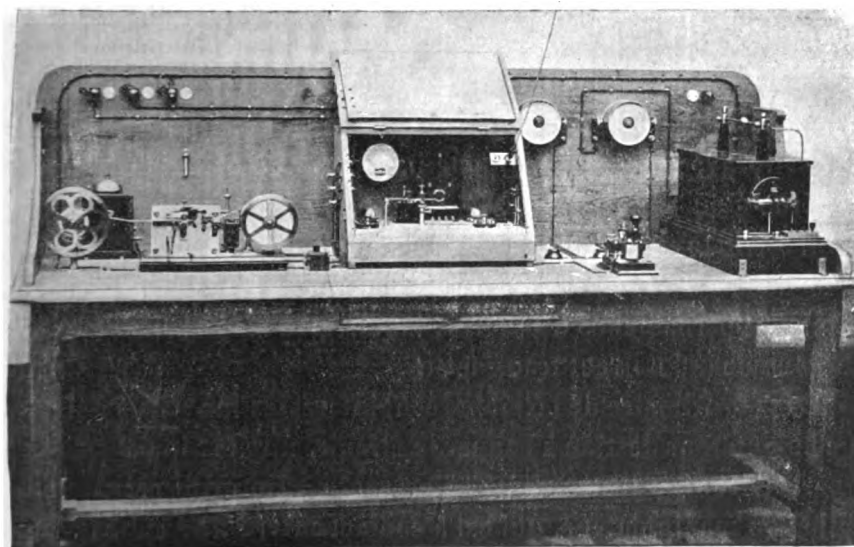
nous reste maintenant à décrire sommairement les détails de l'organisation d'une station de télégraphie sans fil. Nous choisissons

Fig. 15.



comme exemple un des modèles de nos stations d'expériences (fig. 15, 16 et 17).

Fig. 16.



» Dans ce modèle, construit dans les ateliers du Dépôt central de la Télégraphie militaire, tous les organes nécessaires à la transmission

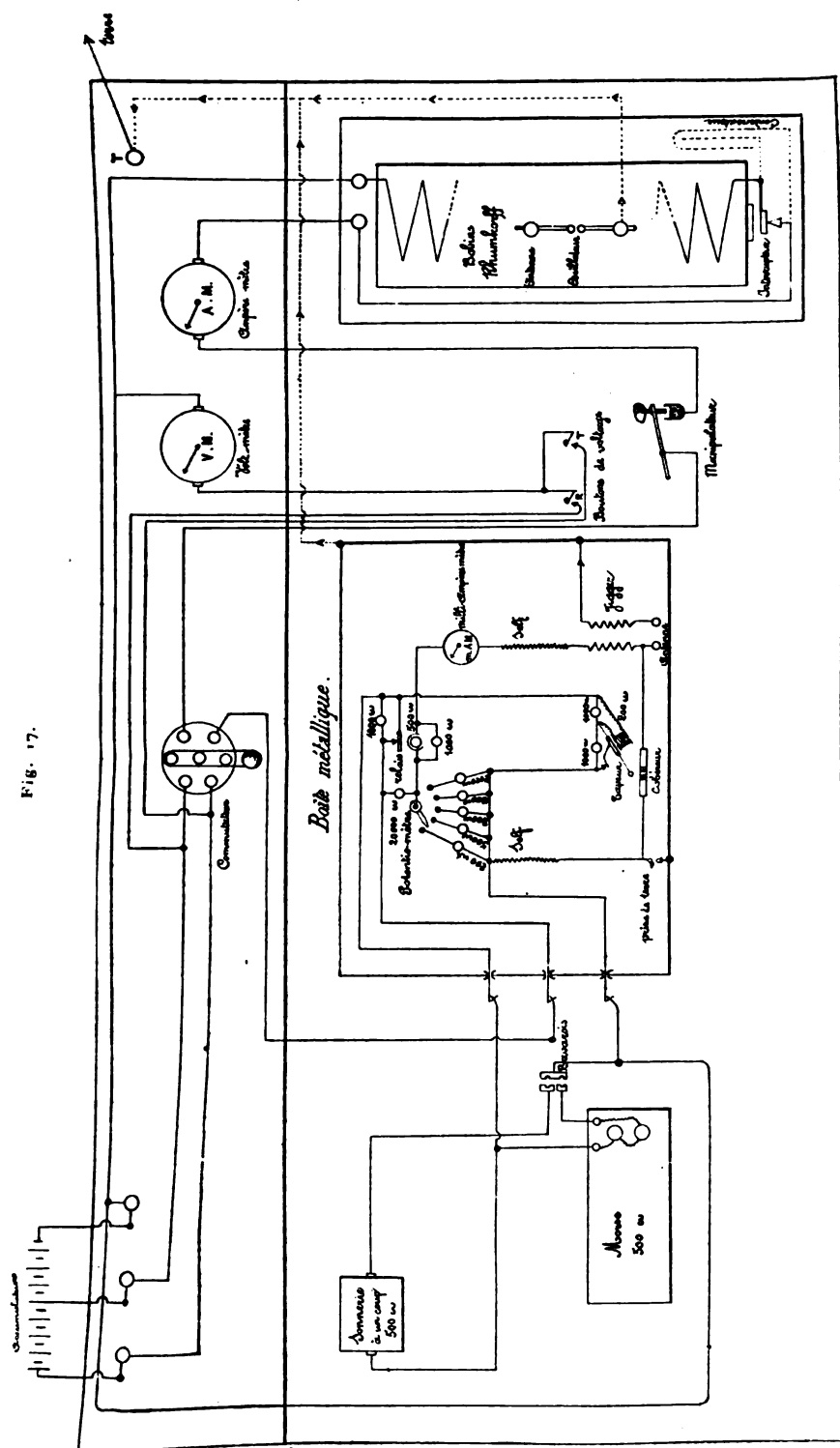
et à la réception sont groupés sur une même table et sont actionnés par la même batterie d'accumulateurs ou la même pile. Dans la description qui va suivre, nous n'insisterons seulement que sur les détails qui présentent quelque importance, pour la transmission d'abord, pour la réception ensuite, et nous terminerons par l'examen des particularités que présente l'ensemble.

» *Transmission.* — Le montage de transmission est celui indiqué dans la première Partie de cette étude, c'est-à-dire le montage dit à *étincelle directe*.

» La bobine employée est une bobine Carpentier du type de 25^{cm} d'étincelle à interrupteur sec du nouveau modèle Carpentier; cette bobine, dont le fonctionnement est excellent, est parfaitement suffisante pour les installations dans lesquelles on n'est pas très limité comme hauteur d'antenne, ou lorsque les distances ne sont pas considérables. Elle a l'avantage de ne consommer que 4 ou 5 ampères sous 16 volts; elle donne, sur antenne de 25^m, 40^{mm} d'étincelles; sur antenne de 50^m, 20^{mm}; sur antenne de 100^m, 10^{mm}; et sur antenne de 200^m, 5^{mm}. Lorsqu'on est limité comme hauteur d'antenne ou que la distance à franchir est considérable, nous avons trouvé qu'il y avait avantage à employer la bobine dite *unipolaire Rochefort* avec interrupteur à mercure, qui donne à peu près une longueur double d'étincelles, mais qui exige 6 à 8 ampères sous 32 volts. L'emploi de cette dernière bobine permet de diminuer la hauteur d'antenne nécessaire avec la première pour une communication déterminée d'environ $\frac{1}{5}$ ou $\frac{1}{4}$.

» L'oscillateur est monté sur la bobine même; les sphères ont 2^{cm} de diamètre et sont en cuivre ordinaire; l'un des pôles, le positif, est mis en permanence à la terre, tandis que le négatif est relié à l'antenne quand on veut transmettre.

» Dans le primaire de la bobine sont intercalés les accumulateurs, un commutateur destiné à couper le circuit, un manipulateur et un ampèremètre. Ces instruments ne présentent rien de spécial, à l'exception du manipulateur, qui est à contact cuivre sur cuivre dans le pétrole. Sa poignée est en ébonite pour éviter le contact de la main avec le circuit. Enfin, un voltmètre peut être mis en dérivation quand on veut s'assurer de l'état des accumulateurs.



» *Réception.* — Les organes de réception sont divisés en deux parties : les uns placés à l'intérieur d'une boîte métallique munie d'un couvercle, les autres à l'extérieur. La fermeture du couvercle coupe automatiquement les fils de connexion qui relient les appareils placés à l'intérieur à ceux placés à l'extérieur; de plus, les extrémités de ces fils, situées du côté des appareils intérieurs, sont, par cette fermeture, reliées à la boîte métallique qui est elle-même en communication avec le sol. On voit qu'il suffit de fermer le couvercle pendant la transmission pour soustraire entièrement à l'action trop énergique de cette transmission les appareils placés à l'intérieur de la boîte et en particulier le cohéreur et le relais.

» Dans ce récepteur, nous avons supprimé la pile spéciale au cohéreur; la différence de potentiel nécessaire au fonctionnement du cohéreur et du relais est fournie par les accumulateurs qui donnent aussi le courant au Morse et au tueur. Ce résultat est obtenu au moyen d'un potentiomètre simple qui permet de faire varier de 1 volt à 0,2 volt la différence de potentiel mise aux bornes du cohéreur lorsque le voltage des accumulateurs employés au Morse et au tueur est de 10 volts; mais, pour éviter que la force électromotrice de self-induction, à laquelle donne lieu le fonctionnement du tueur et du Morse, n'agisse sur le cohéreur dont le circuit est directement relié à celui de ces instruments, on a placé, de part et d'autre du cohéreur, deux bobines d'impédance. Le rôle de ces bobines est donc triple : 1° elles empêchent, dans le cas où l'antenne est reliée directement au cohéreur, les oscillations produites dans l'antenne de se dériver par le circuit du relais; en d'autres termes, elles isolent, pour les oscillations à haute fréquence, le résonateur que constitue l'antenne et qui doit avoir un ventre de force électromotrice au cohéreur pour produire un effet maximum; 2° elles soustraient le cohéreur à l'action de la force électromotrice de self-induction qui prend naissance dans le circuit même du relais, lorsqu'un choc du marteau sur le cohéreur rompt le circuit. L'impédance de ces bobines, suffisante pour cela, est trop faible pour donner lieu elle-même à un effet appréciable sur le cohéreur; 3° elles forment encore barrière pour les courants de self-induction produits par le fonctionnement du relais du tueur et du Morse.

» D'autre part, des shunts sans self-induction, c'est-à-dire à

enroulement replié, sont placés en dérivation sur toutes les parties inductives des circuits. L'expérience nous a montré que la valeur de 1000 ohms était la meilleure à donner à des shunts pour des appareils ayant 500 ohms de résistance sans gêner leur fonctionnement. En particulier, le shunt placé sur le contact du relais permet à un faible courant de traverser le Morse en permanence et d'y produire une rémanence notable qui, jointe à l'inertie de la palette, permet de transformer en traits les séries de points.

» Le relais employé doit être d'une sensibilité extrême pour donner un fonctionnement régulier pour une intensité très faible, attendu que celle-ci ne dépasse pas $\frac{1}{2}$ à $\frac{3}{10}$ de milliampère pour le voltage de 0,2 volt à 1 volt mis aux bornes du cohéreur. Nous avons toujours eu d'excellents résultats avec le relais Claude à cadre mobile, d'une résistance propre de 500 ohms. L'un d'eux, en particulier, n'a jamais été dérégulé après les voyages les plus mouvementés, en mer, en ballon, etc.

» L'antenne peut être mise en relation, soit directement avec le cohéreur, et dans ce cas un petit commutateur permet de mettre l'autre borne à la terre, soit avec le primaire d'un petit transformateur spécial dont le secondaire est intercalé en permanence dans le circuit du cohéreur.

» Enfin, comme on l'a déjà vu, une partie des accumulateurs employés à la transmission sert aussi à la réception; un commutateur permet de fermer alternativement le circuit de transmission ou de réception. Ce commutateur est placé derrière la boîte. Cette disposition permet d'éviter tout accident aux appareils de réception, du fait d'un contact accidentel du manipulateur, puisqu'il est nécessaire de fermer le couvercle de la boîte pour agir sur le commutateur qui met les accumulateurs sur la bobine.

» *Antenne.* — L'antenne, quelle que soit sa forme, doit être soigneusement isolée jusqu'à son arrivée aux appareils; on obtient généralement ce résultat en la suspendant, par l'intermédiaire de cylindres d'ébonite, soit à une vergue placée à l'extrémité supérieure d'un mât ou sapine, soit à un ballonnet ou à la corde de retenue d'un cerf-volant.

» L'entrée de l'antenne dans le local où sont les appareils se fait

par l'intérieur d'un cylindre creux d'ébonite fiché au milieu d'un carreau double ou d'une plaque d'ébonite. Ainsi que nous l'avons déjà vu, il est avantageux d'employer des antennes à très large surface, mais l'usage de tuyaux métalliques présente des difficultés, par suite de leur poids et de la grande prise donnée au vent. On peut les remplacer dans une certaine mesure par des cylindres en treillis ou un certain nombre d'antennes en câble réunies en quantité à leurs extrémités et disposées suivant la génératrice d'un cylindre ou suivant un plan perpendiculaire à la direction du correspondant.

» Il est nécessaire, pour avoir les meilleurs résultats possibles, de placer l'antenne loin de tout obstacle conducteur : accident de terrain important, constructions élevées, etc.

» Les prises de terre sont avantageusement faites au moyen de 20^m à 30^m de plaques de zinc, enterrées jusqu'au sol humide si possible, soudées entre elles et réunies aux appareils par un fil aussi court et aussi gros que possible.

CONCLUSIONS.

» Il résulte de la discussion faite au cours de l'étude qui précède, des principes employés et des résultats obtenus par les divers expérimentateurs, que la télégraphie sans fil présente encore de graves inconvénients :

- » 1^o Elle exige des installations complexes, coûteuses et délicates;
- » 2^o Elle n'assure pas la sécurité des communications.

» Le second inconvénient est le plus grave, et la réalisation de la syntonie ne permet pas de l'éviter.

» Un observateur placé au milieu de l'intervalle de deux stations et muni d'un récepteur suffisamment sensible pourra toujours recevoir les télégrammes échangés entre les deux stations, quelle que soit leur tonalité; de plus, il pourra empêcher la réception des télégrammes dans les deux autres stations, en envoyant des signaux énergiques dans une tonalité quelconque.

» Enfin, les influences parasites de l'électricité atmosphérique constituent une gêne très considérable qui empêche, en certaines saisons, toute communication pendant une partie de la journée.

» La nature même des diverses causes d'insécurité que nous

venons d'énumérer, est telle que l'on ne peut malheureusement pas espérer que l'on pourra un jour les éviter, alors même que l'on parviendrait par un moyen quelconque à envoyer toute l'énergie dans une direction déterminée. Les phénomènes de diffraction, très considérables, à cause de la grande longueur d'onde, étaleraient déjà le mouvement vibratoire à faible distance de l'émission.

» D'autre part, le rendement télégraphique sera toujours très faible, d'abord en raison de la lenteur plus grande de transmission et des arrêts dus aux diverses perturbations et aussi à cause de la difficulté très grande de transmettre ou recevoir plusieurs dépêches simultanément. Il n'est pas possible, en effet, d'employer beaucoup de longueurs d'onde différentes, on est limité par les hauteurs d'antennes, ainsi que par l'impossibilité de sélectionner les ondes de périodes voisines.

» Il semble donc nécessaire de se résigner à accepter la télégraphie sans fil, avec ces inconvénients, et à tâcher d'en tirer le meilleur parti possible, en perfectionnant les appareils utilisés et en cherchant à augmenter l'énergie employée à la transmission en vue d'augmenter les distances de communications.

» Cependant il est à prévoir que l'on sera encore limité dans cette voie, car les appareils des Compagnies concessionnaires et des États se troubleront mutuellement, et de là naîtront une foule de contestations.

» Les applications paraissent par conséquent devoir être limitées aux besoins de la marine de guerre et peut-être, dans certains cas, de la marine de commerce, ainsi qu'à certaines nécessités militaires. L'Administration des Télégraphes n'aura vraisemblablement avantage à employer la télégraphie sans fil au service des communications privées que dans des cas particuliers très rares.

M. le PRÉSIDENT. — « Je remercie M. le capitaine Ferrié de son intéressante conférence sur cette branche de la télégraphie qui lui est si familière et au progrès de laquelle il a personnellement apporté d'importantes contributions.

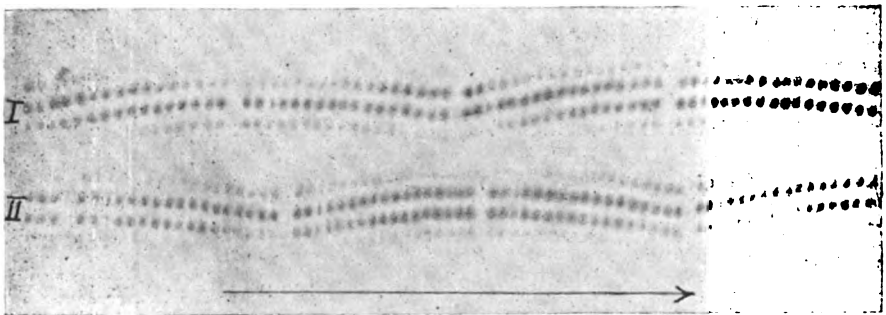
» La discussion sur cette conférence sera ouverte à la prochaine séance, et nous serons très heureux si M. le capitaine Ferrié veut bien venir y prendre part. »

ÉTUDE DES VARIATIONS DE LA VITESSE ANGULAIRE DU VOLANT D'UNE MACHINE A GAZ OTTO A L'AIDE DE LA MÉTHODE STROBOSCOPIQUE. — PROJECTION DES CLICHÉS OBTENUS.

M. A. CORNU. — « J'ai appliqué la méthode stroboscopique décrite dans la séance du 6 novembre 1901 à l'étude des variations de la vitesse angulaire du volant de la machine Otto du laboratoire de l'École Polytechnique. A cet effet, à la bague rotative perforée (voir le *Bulletin*, p. 521), j'ai substitué le volant de cette machine sur lequel dix-huit points brillants ont été répartis uniformément sur une circonférence d'environ 1^m,80 de diamètre concentrique à l'axe : cette circonférence a été tracée à l'aide d'une pointe sur une couche de vernis mat déposée au pinceau sur la jante du volant.

» Ces points brillants ont été, dans une première série d'essais,

Fig. 1.



constitués par des disques de papier d'étain d'environ 0^m,022 de diamètre; on leur donne un grand éclat en projetant, à leur passage sur le segment supérieur du volant, le faisceau divergeant d'une lanterne de projection illuminée par une lampe à arc.

» Une lentille simple de 0^m,15 de foyer, située à 2^m,10 du volant, en projette l'image sur le disque rotatif décrit précédemment, de manière que le segment illuminé du volant coïncide avec une portion de la circonférence du disque percé de trente-six fenêtres circulaires. Dans une première série (*fig. 1*), le disque est mû par un moteur électrique; dans une seconde série (*fig. 3*), un disque de plus grand

diamètre ($0^m, 185$) est mû par un mécanisme d'horlogerie; un frein plus ou moins délicat permet de régler à volonté la vitesse de rotation des disques de manière que la période rotative soit égale à celle du volant, moitié ou double ou multiple de celle-ci. Le balancement stroboscopique se produit alors dans le plan du disque et on l'enregistre au foyer d'un appareil photographique sur une plaque sensible au gélatinobromure. Pour obtenir la loi de balancement avec le temps, l'image est étalée proportionnellement au temps à l'aide d'un miroir tournant autour d'un axe horizontal placé immédiatement devant l'objectif. La rotation du miroir est très lente, grâce à l'artifice du tube de glycérine ⁽¹⁾ décrit précédemment (*loc. cit.*, p. 527). Le balancement transversal des images stroboscopiques successives étant normal à la direction d'entraînement du faisceau, donne lieu aux courbes ondulées dont un spécimen a été reproduit à la page 528.

» Pour montrer à la Société la transition entre les phénomènes produits avec l'appareil de démonstration (p. 520) on a commencé par projeter quelques clichés obtenus avec la bague présentant une circonférence de trous excentrés (clichés analogues à celui de la page 528); on obtient l'équivalent d'une variation de vitesse angulaire sinusoïdale, de sorte que la série des points enregistrés affecte la forme d'une sinusoïde. On détermine aisément sur le cliché non seulement la période du mouvement (grâce à la détermination préalable de la vitesse de translation de la plaque photographique) ⁽²⁾ mais encore l'amplitude et la phase. Cette phase est fournie par un repère spécial qui consiste dans une particularité imposée à l'une des fenêtres de la bague perforée.

» Ensuite, on a projeté une série de clichés se rapportant à l'étude du volant de la machine Otto (*fig. 1 et 3*). L'image des trous successifs de la bague est remplacée par celle des dix-huit disques d'étain collés au volant; l'un d'eux a été couvert de papier noir : c'est celui qui est situé sur le prolongement de la manivelle. Il en résulte

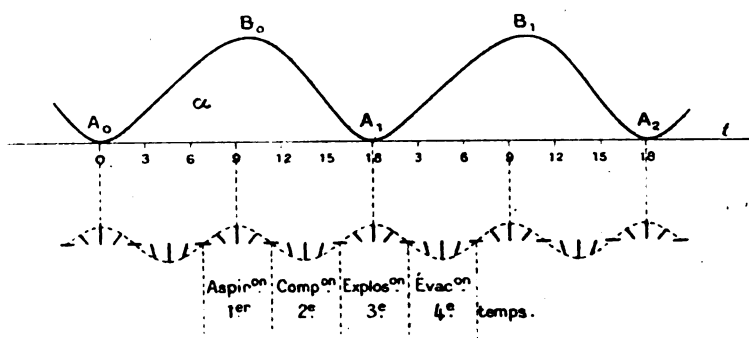
⁽¹⁾ Dans l'appareil définitif actuellement à l'étude, la glace photographique est portée par un chariot sur rails entraîné d'un mouvement uniforme.

⁽²⁾ Sur le cliché IV reproduit plus loin et qui a été relevé au micromètre, la vitesse est de $0^m, 040$ par seconde : le double tour du volant occupant $0^m, 041$ on voit que la machine fait à peu près 120 tours par minute en pleine charge.

une interruption périodique de la succession des images : cette interruption correspond au passage du disque obscur au haut du diamètre vertical du volant, c'est-à-dire au moment où la manivelle est verticale et dirigée vers le haut.

» La configuration de la courbe est celle d'une série d'arceaux se coupant précisément au point où l'image manque. En outre, on reconnaît que chaque arceau présente encore une interruption en son milieu (*). L'interprétation de cette figure concorde avec le fonctionnement bien connu d'une machine à gaz à quatre temps et le précise. On sait que c'est l'explosion du mélange tonnant qui fournit l'impulsion motrice et restitue la vitesse usée par les résistances que le moteur doit vaincre. Cette explosion, qui se produit tous les deux tours du volant, n'est pas instantanée, son effet moyen, d'après le cliché, a lieu au moment où la manivelle est verticale, c'est-à-dire où le piston est au milieu de sa course.

Fig. 2.



» La vitesse augmente par cette sorte de percussion, puis elle diminue peu à peu jusqu'à ce qu'une nouvelle explosion restitue la vitesse, c'est-à-dire la force vive qui doit être dépensée en travail utile ou passif par la machine.

» La *fig. 2* représente schématiquement la courbe $A_0 B_0 A_1 B_1 A_2 \dots$ enregistrée par l'appareil. Les ordonnées de cette courbe déterminent à chaque instant l'angle de décalage, c'est-à-dire l'angle de la mani-

(*) On aperçoit en outre une image plus faible que les autres; c'est celle d'un disque plus étroit, destiné à indiquer le sens du mouvement du volant; car ce disque est disposé de manière à passer $\frac{3}{16}$ de circonférence après le disque obscur. La flèche, tracée après coup, d'après d'autres repères inscrits sur le cliché, confirme ce sens.

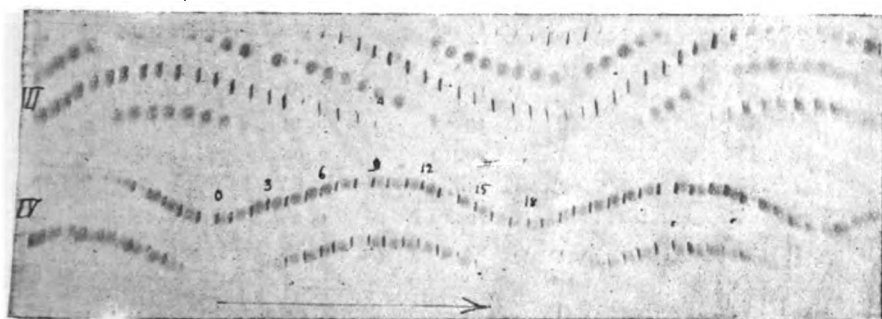
velle réelle avec la direction de la manivelle idéale qui tournerait d'un mouvement uniforme; on reconnaît que la *période* de cette machine à quatre temps comprend deux tours du volant, puisque le nombre des passages du disque obscur est double du nombre des explosions.

» On peut ainsi repérer les positions de la manivelle; par suite, les positions extrêmes de la course du piston, et reconstituer les époques des quatre temps. (Aspiration, compression, explosion, évacuation.)

» Le cliché reproduit dans la *fig. 1* montre très bien ces courbes en arceaux; mais les disques d'étain qui servent de points brillants ont l'inconvénient de manquer d'éclat et de donner des images floues.

» J'ai donc remplacé de deux en deux ces disques par des boutons d'acier poli légèrement convexes, qui donnent des points brillants très vifs et, par conséquent, des traits excessivement nets par la photographie (*fig. 3*); le milieu de ces traits fournit des pointés

Fig. 3.



micrométriques très exacts et en nombre suffisant, bien que réduits à 9 sur la circonférence du volant; ils alternent avec les taches floues des images des disques d'étain. On y retrouve d'ailleurs l'absence de l'un de ces signaux flous provenant du disque noirci servant de repère (direction de la manivelle).

» *Détermination numérique de la loi de variation de vitesse du volant.*
— Le Tableau suivant donne les résultats de mesures effectuées sur la courbe n° IV (*fig. 3*) avec une machine micrométrique de Bianchi. Cette machine est constituée par un chariot armé d'un microscope vertical et

mû par deux vis micrométriques rectangulaires dont les tambours donnent directement le centième de millimètre. On peut donc relever les coordonnées rectangulaires exprimées en millimètres et centièmes de millimètre de tous les points d'une figure plane.

» Les mesures se rapportent aux milieux des traits et expriment leurs distances y à une droite joignant sensiblement le milieu du trait 10 à celui du trait 18. Les abscisses étant sensiblement équidistantes, puisqu'elles correspondent à des temps à fort peu près égaux, il est inutile d'en reproduire le relevé ⁽¹⁾.

N° des traits.	y . mm	$y_0 - y$. mm	Décalage θ . °
0	22,15	0,03	0,08
1	22,07	0,11	0,28
2	21,24	0,94	2,41
3	20,30	1,88	4,82
4	19,85	2,33	5,98
5	19,16	3,02	7,75
6	18,46	3,72	9,55
7	17,69	4,49	11,52
8	17,27	4,91	12,60
9	17,10	5,08	13,04
10	17,16	5,02	12,88
11	17,08	5,10	13,09
12	17,33	4,85	12,45
13	18,37	3,81	9,78
14	19,07	3,11	7,98
15	20,10	2,08	5,34
16	21,32	0,86	2,21
17	22,12	0,06	0,15
18	22,20	-0,02	-0,05

» La colonne $y_0 - y$ est obtenue en retranchant le nombre y de la lecture moyenne y_0 des points 0 et 18, soit $y_0 = 22,18$. Lorsqu'on trace la courbe des valeurs $y_0 - y$ correspondant à des abscisses équidistantes, on obtient une courbe aussi régulière que le permet l'appareil provisoire dont j'ai fait usage. On reconnaît que le maximum a lieu au point n° 10, soit un peu au delà du milieu de la période, ce qui indique que l'accélération négative initiale de la vitesse est moindre que l'accélération finale.

» Les arceaux ne se coupent pas à angle vif, mais se raccordent par une

(¹) D'ailleurs l'imperfection du mode de déplacement de l'image par le miroir tournant un peu trop simplifié introduit de petites perturbations accidentelles qui disparaîtront dans l'appareil définitif.

courbe de petit rayon. C'est sur ces données numériques qu'ont été tracés les arceaux de la *fig. 2* à l'échelle de 1^{mm} par degré.

» On peut, du relevé de cette courbe et de la distance moyenne δ de la courbe parallèle (interrompue aux points anguleux par insuffisance du champ photographique), déterminer la loi de variation de vitesse exprimée en valeurs angulaires absolues. En effet, le cliché se suffit à lui-même. La distance moyenne δ en détermine l'échelle; elle se déduit de cinq points effectués perpendiculairement aux traits 4, 7, 9, 12, 15 :

$$8^{mm},17 \quad 8,02 \quad 7,49 \quad 7,73 \quad 7,55 \quad \text{Moyenne : } 7,792 = \delta.$$

» Je démontrerai dans une Communication ultérieure les formules rigoureuses qui permettent de calculer le résultat. Ici, les conditions expérimentales ont été assez simplifiées ⁽¹⁾ pour que l'on puisse admettre que la distance δ des deux courbes représente la moitié de la valeur angulaire commune $\frac{360^\circ}{18} = 20^\circ$ sous-tendue par les points brillants; le balancement $\gamma_0 - \gamma$ étant représenté aussi en demi-grandeur, on en conclura la valeur absolue des écarts en écrivant

$$\theta = 20^\circ \cdot \frac{\gamma_0 - \gamma}{\delta} = 20^\circ \cdot \frac{\gamma_0 - \gamma}{7,792} = 2^\circ,5667 (\gamma_0 - \gamma).$$

C'est avec cette formule qu'on a calculé la colonne θ qui exprime l'*angle de décalage* pour chaque $\frac{1}{2}$ de tour du volant pendant deux tours compris entre deux explosions. L'unité est le degré sexagésimal.

» On voit que le décalage, compté à partir de la position de la manivelle à l'instant moyen de l'explosion, atteint 13° après un tour du volant pour revenir à 0 à l'explosion suivante.

» Ces chiffres n'ont rien d'absolu, ils varient beaucoup en plus ou en moins suivant le travail mécanique imposé à la machine et suivant le fonctionnement des soupapes d'admission du gaz. Mais ces résultats donnent une idée très exacte de l'utilité de la méthode pour le contrôle du bon fonctionnement de la machine : lorsque tel ou tel accident se produit dans l'un des quatre temps, la courbe, au lieu de former un arceau régulier, s'altère et se déforme; j'en ai obtenu plusieurs exemples parmi le grand nombre de clichés que j'ai obtenus avec cette machine, laquelle est loin d'offrir un type de marche régulière.

» *Variété des apparences stroboscopiques sur les clichés.* — Il reste à dire quelques mots sur la variété des apparences que présente le

(1) En effet, l'image de l'intervalle de deux signaux consécutifs du volant a été choisie égale sensiblement à celle des fenêtres du disque analyseur et la période de rotation du disque égale à celle de l'explosion.

phénomène stroboscopique suivant la vitesse relative du disque analyseur et du volant. L'une de celles qui ont été projetées devant la Société se trouve reproduite (*fig. 3, n° III*) : elle a été obtenue à une époque où la vitesse du disque-était sensiblement moitié de celle du volant (toujours de signe contraire). L'aspect est très singulier parce que les images des disques et des points brillants forment deux courbes séparées.

» Cette circonstance se présente lorsque certaines conditions numériques sont remplies par les vitesses linéaires des éléments en jeu. J'aurai bientôt l'occasion de développer la théorie de ces apparences qui mettent en jeu des théorèmes très simples de géométrie et d'arithmétique; elles sont toutes aisément utilisables pour la détermination de la loi des vitesses du mobile étudié, mais elles ne sont pas sans présenter quelques complications lorsqu'on ne possède pas la clef de ces combinaisons.

» En tout cas on ne rencontre aucune difficulté, je dirai même que la simplicité est extrême, ainsi qu'on l'a vu plus haut, lorsqu'on choisit, pour la distance des points lumineux mobiles, sensiblement la même valeur que celle des fenêtres du disque analyseur et qu'on donne à celles-ci une vitesse égale et contraire à la vitesse des points lumineux. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Cornu de la Communication des intéressants résultats de sa méthode stroboscopique.

**SUR LES PROCÉDÉS DE MESURE DE L'ÉCART ANGULAIRE D'UNE MACHINE.
PROCÉDÉ STROBOSCOPIQUE DE M. SARTORI.**

M. BLONDIN. — « Messieurs, vers la fin de 1900, mon attention ayant été attirée par M. Guilbert sur l'intérêt pratique de la question de l'irrégularité des machines motrices, j'examinai quels procédés seraient susceptibles de résoudre plus ou moins complètement les problèmes de la détermination de la variation, en fonction du temps, de la vitesse angulaire d'une machine pendant la durée d'un tour.

» I. Je ne tardai pas à reconnaître que, théoriquement du moins, ces procédés sont fort nombreux.

» Dans les uns on observe, ou l'on inscrit, à l'aide de dispositifs mécaniques le mouvement relatif d'un organe participant au mouvement irrégulier de la machine et d'un second organe animé d'un mouvement connu, soit périodique comme celui d'un diapason, soit de rotation uniforme comme celui d'un disque ou tambour.

» Dans d'autres, les variations sont mises en évidence par les modifications qu'elles produisent dans les indications d'un appareil électrique : par exemple, l'induit d'une petite dynamo à courant continu étant calé sur l'arbre de la machine à étudier, les variations de vitesse de celle-ci se traduisent par des variations de la force électromotrice induite faciles à mettre en évidence par divers moyens.

» Un troisième groupe de procédés comprend ceux où les variations de vitesse sont accusées par des dispositifs optiques ; par exemple les procédés ordinairement employés dans l'application de la méthode stroboscopique à l'étude de divers phénomènes.

» II. Mais si les procédés paraissant *a priori* susceptibles d'être utilisés sont nombreux, bien peu permettent de réaliser les conditions de précision et de sensibilité qu'exige la détermination de variations de vitesse aussi faibles et aussi rapides que celles que présentent, pendant la durée d'un tour, les machines à vapeur actuelles.

» Le procédé consistant à inscrire les variations d'un diapason sur un organe participant au mouvement irrégulier de la machine peut donner de bons résultats, mais à la condition d'effectuer l'inscription sur un disque ou tambour de grand diamètre, et alors le procédé devient d'une application difficile, parfois même impossible. Quant aux autres procédés mécaniques dans lesquels le mouvement irrégulier de la machine est rapporté au mouvement de rotation d'un tout autre organe, ils sont tout à fait insuffisants, les défauts de centrage inévitables et les variations de vitesse possibles de l'organe mobile introduisant des erreurs de l'ordre même de grandeur des variations à mesurer.

» Les procédés électriques, malgré la précision que nous sommes habitués à constater dans les mesures électriques, ne valent guère mieux : par suite des phénomènes de self-induction, les indications des instruments destinés à déceler le phénomène électrique mis en jeu par les variations de vitesse ne suivent pas exactement ces variations ; il y a, comme dans les accouplements mécaniques, une « élasticité » qui enlève toute précision aux mesures.

» Les procédés optiques n'ont pas cet inconvénient ; l'organe indicateur, le rayon lumineux, n'a ni inertie, ni élasticité ; de plus, l'emploi de la photographie permet d'en fixer les variations les plus rapides. D'autre part, les organes mécaniques nécessaires à l'application des procédés optiques étant réduits à leur minimum (des fentes sur la machine et un disque stroboscopique ou un miroir tournant) les erreurs expérimentales doivent nécessairement être plus faibles avec ces procédés qu'avec les autres. Enfin les procédés optiques permettent de mesurer les variations de vitesse d'un point du volant en même temps que celle d'un point de l'arbre, variations qui ne suivent pas la même loi en raison de l'élasticité des bras du volant.

» Nous arrivons donc à cette conclusion que, parmi les nombreux procédés susceptibles d'être utilisés pour la solution du problème posé, *les procédés optiques doivent donner la plus grande précision.*

» C'est cette conclusion sur laquelle je me proposais d'appeler votre attention en me faisant inscrire, à la suite de l'intéressante séance de novembre dernier, pour prendre part à la discussion devant avoir lieu à la séance de décembre.

» III. Des divers expérimentateurs qui, dans ces derniers temps, ont étudié l'irrégularité des machines motrices, aucun, en effet, n'a utilisé de dispositifs optiques et, de leur aveu, les résultats qu'ils ont obtenus sont loin d'avoir la précision qu'ils espéraient. L'un d'eux, le Dr Franke, qui a essayé successivement le procédé du diapason, divers procédés mécaniques et un procédé électrique de son invention, va même jusqu'à dire, dans une Communication à la Société des Ingénieurs électriciens allemands, que, dans l'état actuel de la Science, la détermination complète de la loi des vitesses d'un point d'une machine motrice ne peut être faite avec la précision nécessaire.

» En présence de ces aveux et de cette assertion, il me semblait utile de discuter les dispositifs employés jusqu'à présent et de montrer les avantages des procédés optiques. J'espérais, par cette discussion, engager les chercheurs à employer ces procédés et, en particulier, par le procédé stroboscopique dont M. Cornu vous montrait le principe à la séance de novembre.

» Une indisposition m'empêcha d'assister à la séance de décembre. Aujourd'hui il serait inutile d'insister devant vous sur les avantages des dispositifs optiques. Les clichés obtenus par M. Cornu dans des essais faits sur un moteur Otto, et qui viennent de vous être projetés, montrent, beaucoup mieux que toute digression théorique, que le procédé stroboscopique permet de résoudre élégamment et avec précision le problème posé. Je me bornerai donc à vous parler des essais faits par le professeur Sartori, de Trieste, avec un dispositif stroboscopique, essais exécutés à la suite de la publication du résumé de la Communication de M. Cornu, de novembre, et dont M. Sartori me communiquait les résultats dès le 3 décembre dernier ⁽¹⁾.

» IV. M. Sartori emploie des disques de Bedel-Moler; ces disques

⁽¹⁾ M. Sartori avait utilisé le même dispositif stroboscopique, dès 1898, pour l'étude de l'irrégularité d'un moteur à gaz Crossley d'une puissance de 30 chevaux. La description du dispositif et la relation succincte des résultats obtenus ont été données dans une conférence « Sur l'emploi des moteurs à gaz pour actionner les dynamos à courants continu, alternatif simple et polyphasés » faite à la *Società degli Ingegneri ed Architetti* de Trieste, et publiée dans *Il Monitore tecnico* de Milan, le 20 mai 1898.

sont percés de fentes en forme de développantes de cercle, la courbure des fentes de l'un étant inverse de celle des fentes de l'autre. Si l'on dispose les disques de manière que leurs axes soient dans le prolongement et si l'on place derrière eux un écran fortement éclairé, un observateur placé devant l'ensemble voit une série de points lumineux résultant de l'intersection des deux séries de fentes; ces points sont situés sur une circonférence dont le rayon dépend de la position relative des deux disques. En faisant tourner les disques dans le même sens et avec la même vitesse angulaire, la persistance des impressions rétinienne fait percevoir une circonférence lumineuse. Si l'un des disques vient à tourner plus vite que l'autre, le rayon de cette circonférence lumineuse croît ou décroît, la variation de ce rayon étant, par suite de la forme des fentes, proportionnelle à la variation de l'écart angulaire entre les disques. Si donc, l'un des disques conservant une vitesse angulaire constante, l'autre possède une vitesse oscillant entre certaines limites, on verra la circonférence lumineuse s'agrandir, puis diminuer, en d'autres termes on obtiendra une circonférence *pulsante* et la grandeur des pulsations permettra de déterminer la variation de l'écart angulaire des deux disques.

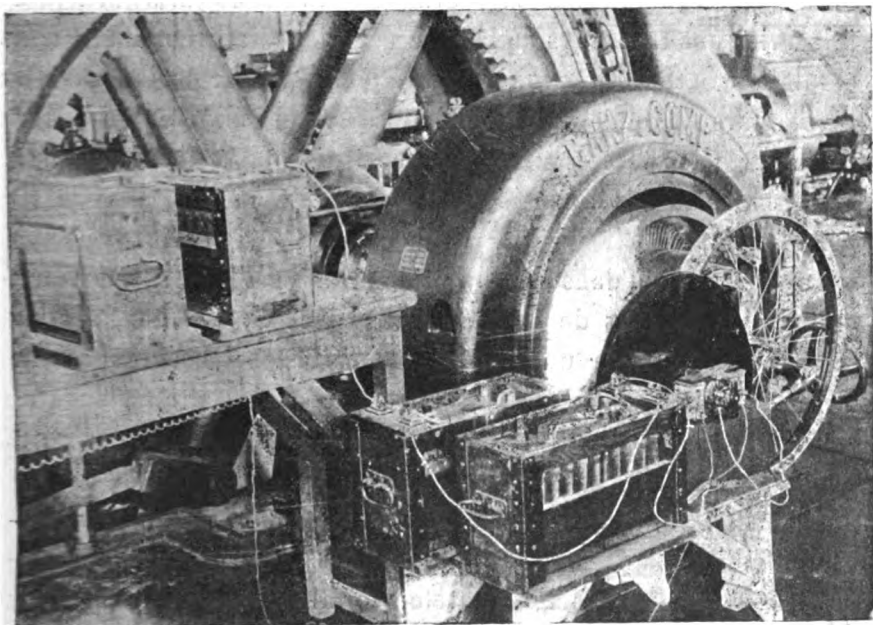
» Pour obtenir, par ce procédé, l'écart angulaire d'une machine motrice, il suffit, par conséquent, de commander l'un des disques par cette machine et de donner à l'autre une vitesse angulaire de valeur convenable et parfaitement constante. Dans les essais de M. Sartori, ce dernier disque était mû par un petit moteur électrique alimenté par des accumulateurs; l'autre était relié à l'arbre de la machine par un accouplement multiplicateur de vitesse, de manière à amplifier l'écart angulaire de celle-ci et rendre ainsi le phénomène plus apparent.

» Les essais ont été faits sur un groupe électrogène de la station centrale de Trieste, dirigée par l'ingénieur Sospisio. Ce groupe est constitué par une machine à vapeur Tosi, compound tandem, faisant 104 tours par minute, accouplée directement à un alternateur Ganz, triphasé, à 24 pôles, de 250 kilowatts. Pendant les essais, ce groupe fonctionnait en parallèle avec un groupe identique. La charge de chaque alternateur était d'environ 200 kilowatts.

» Dans des essais préliminaires, faits uniquement en vue de

s'assurer de la possibilité d'appliquer le procédé, l'accouplement de l'un des disques et de la machine était réalisé par une simple courroie. Après quelques tâtonnements on parvint à porter la vitesse du moteur électrique commandant l'autre disque à la valeur qui correspondait à la valeur moyenne de la machine. La circonférence lumineuse se *balançait* alors de part et d'autre d'une position moyenne, se déplaçant au maximum de 15^{mm} . A ce déplacement correspondait une variation de l'écart angulaire des deux disques de 2° . Le rapport des vitesses des disques et de la machine étant 5 à 1, le double de l'écart angulaire maximum de la machine était donc de $\frac{1}{5}$ de degré.

» Quelques jours plus tard, les essais furent repris avec quelques modifications à l'appareil. Le disque commandé par la machine, primitivement en métal, très léger du reste, fut remplacé par un disque de carton qui, ayant moins d'inertie, devait mieux suivre les varia-



tions de vitesse de la machine. A la courroie fut substituée une roue de bicyclette fixée à l'arbre de l'alternateur par une étoile à trois branches munies de vis de pression et entraînant par frottement l'arbre en bois du disque. La photographie ci-dessus montre nettement l'ensemble du dispositif.

» Dans ces conditions, la vitesse angulaire moyenne de l'alternateur étant de 104 tours par minute, celle du disque était de 665 tours par minute et à une variation de 10^{mm} de la longueur du rayon de la circonférence lumineuse correspondait une variation de l'écart angulaire de 0°, 24 de l'arbre de la machine. On obtint une variation de 16^{mm} du rayon. L'écart angulaire maximum de la machine de part et d'autre de la manivelle idéale était donc de

$$\frac{1}{2} \times 1,6 \times 0,24 = 0^{\circ}, 19.$$

» V. En me communiquant ces résultats, M. Sartori ajoutait :

« Ces machines sont donc très aptes au couplage en parallèle, ce qui est d'ailleurs surabondamment démontré par la possibilité de maintenir le parfait synchronisme, même en ajoutant en parallèle aux deux alternateurs en service un autre alternateur, dont la machine à vapeur de 500 chevaux commande, de l'autre côté de l'arbre coudé, une dynamo à courant continu de 200 kilowatts pour le service des tramways de la ville (service fait directement sans emploi de batterie-tampon). Naturellement, pour permettre aux régulateurs des machines d'avoir une action rapide et de suivre de la sorte les fortes variations de vitesse, on a dû substituer à la glycérine des amortisseurs, de l'huile mélangée avec du pétrole.

» La vitesse varie dans ces conditions très sensiblement, de sorte qu'avec les disques de l'appareil stroboscopique il est presque impossible de saisir un moment de parfait balancement de la circonférence lumineuse, mais l'accrochage des alternateurs se maintient parfaitement sans occasionner de trop forts courants synchronisants.

» Au contraire, avec des alternateurs commandés par des machines indépendantes, la stabilité de marche est presque parfaite et l'observation très facile. Toutefois les alternateurs s'échangent toujours une partie de la charge avec une période qui, au moment de l'essai cité, était de 2 minutes environ.

» Il m'a été impossible de faire un essai avec un seul alternateur en service, les conditions du réseau réclamant toujours au moins deux alternateurs.

» En conclusion, je trouve que la méthode est très pratique et

- » donne une solution satisfaisante pour la détermination de l'écart
- » maximum d'une machine en mouvement.

» Il est très facile de compléter l'appareil de manière qu'il soit possible de saisir la forme de l'oscillation de la machine. Il suffit pour cela de recevoir à travers une fente radiale, sur un miroir tournant, un rayon de la circonférence lumineuse et de l'envoyer sur un verre dépoli ou sur une plaque photographique. »

» VI. J'ajouterai qu'ayant fait observer à M. Sartori qu'un défaut de centrage de la roue de bicyclette ou un glissement de cette roue sur l'arbre du disque pouvait amener des erreurs importantes, M. Sartori me répondit qu'il ne pensait pas qu'il en fût ainsi et qu'il estimait pouvoir compter sur une approximation de 3 pour 100.

» Je ne discuterai pas ce chiffre, qui me paraît cependant bien optimiste, mon but, en vous communiquant les essais de M. Sartori, étant principalement de montrer que les procédés optiques, bien que d'une application délicate, ne sont pas seulement des procédés de laboratoire, mais peuvent être utilisés dans les usines. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Blondin de la description si claire qu'il a donnée du procédé de M. Sartori, et rappelle que le dispositif optique intéressant, adopté dans ces essais, a déjà été employé en particulier par M. Bedell dans son dynamomètre.

« M. MASCART rappelle les raisons qui ont motivé la convocation de la réunion actuelle en assemblée générale extraordinaire, conformément au § 2 de l'article 13 des Statuts.

» Les locaux occupés rue de Staël par le Laboratoire central et l'École supérieure d'électricité sont devenus tout à fait insuffisants par suite du développement des travaux et de l'augmentation imprévue du nombre des élèves. On devait donc se résoudre, dans un avenir prochain, à surélever une partie des bâtiments, ce qui nous causerait beaucoup d'embarras et des dépenses considérables.

» Grâce au concours de M. Chautard, conseiller municipal, à qui nous sommes très reconnaissants de sa sympathie pour les créations de la Société, une occasion s'est présentée de traiter avec la ville de Paris pour la cession du terrain voisin, occupé par un poste d'Am-

bulances urbaines, dont la superficie est de 840^m environ et dont les constructions seraient immédiatement utilisables.

» Comme la question de principe devait être réglée par le Conseil municipal avant la fin de 1901, il était urgent d'entrer en négociation, sous réserve de vous demander ensuite l'approbation exigée par l'article 8 des statuts, car les délais ne permettaient pas de convoquer d'avance une assemblée générale.

» Les pourparlers n'ont pu aboutir qu'à la condition que la Société contribuerait par une somme de 50000^{fr} aux frais que doit faire la Ville de Paris pour le déplacement du poste d'Ambulances urbaines. Le terrain nous serait attribué pour une période de 60 années.

» Le Comité d'administration, après avoir longuement discuté le projet, a autorisé le Président de la Société à accepter ces bases de la transaction. La somme de 50000 francs serait couverte : 1^o par un prélèvement de 20000^{fr} disponibles sur le budget de l'Ecole en 1902; 2^o par un emprunt de 30000^{fr} avec des titres de 500^{fr}, rapportant un intérêt de 3 pour 100 et remboursables par anticipation ou au maximum en 10 années. Cet emprunt a été souscrit en entier, séance tenante, par un certain nombre de membres du Comité d'administration.

» Il est bon de rappeler que l'emprunt antérieur de 60000^{fr}, contracté en 1897 et remboursable en 20 années, est déjà remboursé pour près de moitié. La Société se trouvera ainsi dans l'état où elle était à l'époque du premier emprunt.

» Les ressources annuelles et la valeur du matériel offrent toutes garanties pour l'acquittement de nos dettes.

» L'Assemblée générale est ainsi appelée à prendre les deux résolutions suivantes :

» 1^o Approuver la convention avec la Ville de Paris dans les conditions indiquées;

» 2^o Approuver le nouvel emprunt de 30000^{fr}. »

M. le PRÉSIDENT. — « Messieurs, aux termes des articles 22 du Règlement intérieur et 13 des Statuts de la Société, l'Assemblée générale doit réunir cent Membres au moins, présents ou représentés, pour que ses délibérations soient valables. Or, le registre déposé à

l'entrée de la salle des séances porte les signatures de cent trente-cinq Membres présents à la réunion de ce soir. Les décisions que vous allez prendre posséderont donc le caractère de validité statutaire. »

L'Assemblée consultée sur le mode de votation à adopter se prononce pour le vote à mains levées.

M. le PRÉSIDENT. — « Je mets aux voix la première des délibérations annoncées par M. Mascart, ainsi conçue :

« L'Assemblée générale autorise le Président de la Société à
» s'entendre avec la Ville de Paris, dans les conditions indiquées
» au Rapport publié par le *Bulletin municipal officiel* du 17 novembre 1901, pour la cession des terrains actuellement occupés
» par les Ambulances urbaines, rue de Staël. »

Cette délibération est votée à l'unanimité.

M. le PRÉSIDENT. — « Je mets aux voix la seconde délibération dont voici le texte :

« L'Assemblée générale autorise le Comité d'administration de
» la Société à contracter un emprunt de trente mille francs
» (30,000^{fr}), par voie de souscription et par coupures de 500^{fr} rap-
» portant 3 pour 100 d'intérêt, et amortissable en 10 ans avec
» faculté d'anticipation, pour compléter la somme nécessaire à la
» remise par la Ville de Paris des terrains actuellement occupés
» par les Ambulances urbaines, rue de Staël. »

Cette délibération est également adoptée à l'unanimité.

La séance est levée à 11^h du soir.



CORRESPONDANCE.

Asnières, le 18 novembre 1901.

*Monsieur le Président de la Société internationale des Électriciens,
Paris.*

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

Comme suite à votre circulaire du 11 courant, j'ai l'honneur de vous informer que je ne compte pas prendre part à la discussion des importantes questions dont vous parlez, et auxquelles je n'aurais pas de lumières spéciales à apporter. Mais je désire attirer votre attention sur l'effet du vent sur les lignes aériennes, dont M. Loppé me paraît n'avoir envisagé qu'un des côtés. Quel que soit le vent, en effet, il a toujours une composante perpendiculaire à la ligne, de sorte que la tension résultante est oblique par rapport aux poteaux. Il en résulte un effet de flexion auquel les poteaux n'offrent qu'une résistance très médiocre, et qui me paraît limiter la portée normale beaucoup plus étroitement que les considérations de flèche et de tension limite, exposées d'ailleurs d'une façon très intéressante par M. Loppé. Il serait donc désirable, à ce qu'il me semble, que M. Loppé voulût bien compléter son utile étude par le développement de ce cas; il pourrait avoir une vérification des résultats auxquels il parviendrait, dans ce fait que les lignes télégraphiques, quelles que grandes que soient leur portée et la charge des fils, dans certaines limites bien définies, n'ont pour ainsi dire jamais de poteaux cassés par les plus grands vents.

Veillez agréer, Monsieur le Président, l'expression de mes sentiments dévoués.

E. BRYLINSKI.

**Société anonyme des anciens ateliers de construction Van den Kerchove,
Coupure 189, Gand (Belgique).**

Gand, le 31 décembre 1901.

*Monsieur le Président de la Société internationale des Électriciens,
Paris.*

MONSIEUR,

Nous avons lu avec beaucoup d'intérêt l'étude qui a paru dans votre dernier *Bulletin* au sujet de la régularité des machines *dans le tour*.

Quoiqu'il soit un peu tard peut-être pour apporter à vos travaux une modeste contribution, nous croyons cependant qu'il est intéressant de vous communiquer une épure de volant que nous avons tracée et qui indique, par comparaison, l'influence considérable qu'exercent les poids des pièces, que souvent on néglige au point de vue de la régularité et surtout du décalage.

La machine pour laquelle a été tracée l'épure que nous vous adressons par le même courrier est une machine double composée de deux compounds tandems jumellées et d'une puissance totale de 2000 chevaux environ.

Quatre unités semblables, attaquant directement des alternateurs Thomson Houston, vont être montées dans la nouvelle station centrale des tramways bruxellois (*Pl. LXXX*).

L'épure des efforts moteurs étant établie, nous avons supposé trois efforts résistants différents.

Le pointillé représente une droite parallèle à la base, c'est-à-dire un couple résistant constant.

Il faudrait donc, pour le réaliser, équilibrer l'influence des poids (manivelles, bielles, etc.).

Le trait plein indique, au contraire, une sinusoïde tracée en tenant compte de ces poids non équilibrés.

Enfin le trait mixte serait une sinusoïde idéale, calculée de façon à obtenir la meilleure régularité et le décalage le plus faible. Il faudrait, pour le réaliser, accentuer encore l'influence des poids, comme on le voit sur l'épure.

On arrive donc à cette conclusion, au moins inattendue, et peut-être assez peu connue, qu'en équilibrant les manivelles on aggraverait très sensiblement l'irrégularité au lieu de l'atténuer, et qu'il faudrait plutôt, si d'autres inconvénients ne sont pas à craindre (balourd trop prononcé pour le démarrage et l'arrêt, force centrifuge du contrepoids), placer un poids supplémentaire à la jante du volant dans l'angle des deux manivelles.

On arrive à une conclusion semblable pour les machines à une manivelle; si le sens de rotation est en avant, comme on est convenu de l'appeler, le poids de la manivelle exerce sur la régularité dans le tour une influence favorable compensant, dans une certaine mesure, l'effet perturbateur de l'obliquité de la bielle sur le diagramme des efforts moteurs.

Si le sens de rotation était inverse, l'effet des poids dans le cas de l'épure, comme dans celui de la simple tandem, aggraverait au contraire l'irrégularité.

Il y aurait lieu, pour avoir une approximation encore plus grande, de tenir compte de l'effet des pompes à air attelées au tourillon de manivelle, s'il y en a, et de faire en sorte que cette action se produise aussi de façon qu'elle soit favorable au point de vue du décalage.

Espérant que cette petite remarque vous intéressera, nous vous prions d'agréer, Monsieur, nos salutations empressées.

L'Administrateur délégué,

VAN DER STEGEN.

N. B. — Pour l'intelligence du dessin, il est à remarquer que les diagrammes A du petit et du grand cylindre ont été construits en prenant comme ordonnées les efforts sur les pistons et pour abscisses les déplacements. Ces efforts ajoutés donnent le tracé B, dans lequel on fait alors intervenir les compressions et la courbe d'inertie. Une construction connue donne la courbe des efforts tangentiels sur le bouton de manivelle.

Les indications d'échelles, etc., s'appliquent au cas où l'on tient compte du poids des bielles et manivelles.



ANNEXE.

Note sur les compteurs ayant figuré au Musée rétrospectif de l'Exposition de 1900 et donnés à la Société internationale des Électriciens par la Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz.

I. — COMPTEURS D'INTENSITÉ.

Compteur Desruelles. — Compteur chimique, basé sur le même principe que le compteur Edison, mais une seule des électrodes est mobile, et le voltamètre intercalé dans le circuit principal reçoit la totalité du courant à mesurer.

Brevet allemand 37704 du 20 mars 1890.

» 67533 (addition).

Compteur Grassot. — Compteur chimique; un fil d'argent traversé par un courant proportionnel au courant à mesurer s'use d'une quantité proportionnelle au débit.

Brevet allemand 60276 du 12 avril 1891.

Compteur Brocq. — On a employé le principe suivant :

L'action d'un solénoïde sur un fer étant proportionnelle au carré du courant produit, le mouvement contre un frein fluide, proportionnel à la racine carrée de la pression, de sorte que le nombre des mouvements dans un temps donné est finalement proportionnel au courant multiplié par le temps.

Brevet allemand 73501 du 12 juillet 1893.

Compteur Aron. — Deux pendules commandent un train différentiel restant immobile lorsque les deux pendules sont synchrones. L'un des pendules porte un aimant soumis à l'action d'une bobine traversée par le courant à mesurer qui rompt le synchronisme. Le train différentiel entraîne le totalisateur avec une vitesse proportionnelle à la désynchronisation qui, elle-même, est proportionnelle au courant.

Il existe encore beaucoup de ces appareils dont les brevets datent :

Brevet allemand 30207 du 15 juin 1884.

» 32244 (addition).

» 40172 du 3 octobre 1886.

» 45917 du 8 mai 1888.

» 63350 du 26 novembre 1891 (triphase).

» 63632 du 19 juillet 1891.

» 68633 du 24 juillet 1892.

» 69301 du 2 juin 1893.

» 72938 du 9 juin 1893.

» 74436 de février 1893.

» 79938 du 25 juillet 1894.

Compteur Schallenberger. — Dans cet appareil, le courant traverse deux bobines plates parallèles entre elles et entourant un anneau de fer doux monté sur un disque en cuivre. Entre ce dernier et les bobines est disposé un double cadre en cuivre, faisant avec l'enroulement du circuit un angle que l'on peut faire varier suivant le degré de sensibilité désiré. Le passage du courant détermine dans les cadres en cuivre des courants induits de haute intensité (à cause de la très faible résistance de ces conducteurs) et qui sont décalés d'une fraction de période par rapport aux courants qui circulent à l'intérieur des bobines.

Brevet français 192283 du 7 août 1888.

193603 du 10 octobre 1888.

Compteur Duncan. — Compteur moteur pour courants alternatifs du genre Schallenberger, pour deux et trois fils. Le frein est constitué par six ailettes formant frein, par la résistance de l'air.

Brevet allemand 78626 du 21 juillet 1893.

Compteur Borel. — Un disque de fer tourne à l'intérieur de deux bobines dont les pôles sont perpendiculaires à ceux de deux électro-aimants; ces deux groupes de bobines sont réunis en quantité et traversés par le courant alternatif à mesurer. La self-induction et l'hystérésis développées dans les électros équivalant à une différence de phase, le disque se met à tourner. Le couple est proportionnel à la moyenne des carrés de l'intensité du courant. Le frein est constitué par des ailettes.

Brevet français 190946 du 2 juin 1888.

Compteur Ferranti. — Compteur du même type que le compteur Borel.

Brevet anglais 4396 du 27 septembre 1882.

Brevet français 213392 du 20 mai 1891.

II. — COMPTEURS D'ÉNERGIE.

Siemens et Halske. — Compteur à intégration discontinue, toujours composé en principe d'une horloge, d'un électrodynamomètre et d'un système intégrateur.

L'horloge donne un mouvement périodique à une came venant buter sur la pointe de l'aiguille du wattmètre. L'angle parcouru par la came est enregistré et est proportionnel à la déviation de l'aiguille.

L'horloge est du type ordinaire à balancier et se remonte périodiquement à la main.

Brevet allemand 23919 du 12 juillet 1883.

» 30287 du 1^{er} avril 1884.

» 33397 (addition au 30287).

Brevet allemand 40632 du 8 février 1889.

» 57785 (addition).

» 67055 du 5 avril 1892.

» 72262 du 28 février 1893.

» 75502 du 15 septembre 1893.

Compteur Mares. — Se compose d'un mouvement d'horlogerie avec remontage fait à la main tous les mois; d'un électrodynamomètre-balance et d'un totalisateur mis en mouvement par une crémaillère venant engrener pendant tout le temps que le contrepoids de la balance n'est pas équilibré par le couple électrodynamique.

Brevet allemand 54523 du 18 octobre 1889.

» 57348 (addition).

Wattheure Cauderay. — Combinaison d'un wattmètre, d'une horloge et d'un intégrateur. L'horloge, qui est un compteur horaire Cauderay, donne un mouvement périodique à une came mettant en prise l'aiguille du wattmètre avec le système totaliseur pendant un temps proportionnel à l'angle de déviation de cette aiguille. Plusieurs milliers de ces compteurs ont été mis en service et ont donné d'assez bons résultats; ils ont été abandonnés et suivis par les compteurs étudiés par M. Frager.

Brevet allemand 25542 du 6 avril 1883.

» 26209 (addition).

» 37806 (2^e addition).

» 38302 du 9 mars 1886.

» 43783 (addition).

» 51203 du 9 février 1889.

Wattheuremètres Frager. — Deux dispositifs de wattheuremètres toujours composés en principe d'un wattmètre, d'une horloge et d'un intégrateur. Ces appareils sont du genre des compteurs Cauderay qu'ils ont suivis; ils ont été abandonnés à l'apparition des compteurs moteurs.

Brevet allemand 52456 du 16 juin 1889.

Compteur Meylan-Rechniewski. — Se compose d'un moteur électrique à vitesse constante, faisant tourner une came qui, à chaque tour, rencontre un fléau portant la bobine mobile d'un électrodynamomètre. Un embrayage à friction transmet le mouvement de l'axe à un totalisateur pendant un temps proportionnel au courant dépensé.

Brevet allemand 59613 du 7 août 1890.

Compteur Lebois. — Compteur du genre Siemens avec moteur à balancier entretenu électriquement. A été fabriqué à Saint-Étienne mais ne s'est pas répandu.

Brevet français 190324 du 1^{er} mai 1888.

Compteur Brillié. — Cet appareil consiste en un moteur électrique dont la vitesse est maintenue proportionnelle à la puissance à mesurer au moyen d'un régulateur commandé par un électrodynamomètre.

Brevet allemand 60190 du 23 mai 1890.

64488 du 25 septembre 1891.

III. — COMPTEURS HORAIRES.

Compteur Aubert. — Cet appareil est constitué par un mouvement d'horlogerie pouvant marcher 500 heures, et mis en mouvement au moyen d'un levier sollicité par un solénoïde, lors du passage du courant.

Brevet français 191980 du 24 juillet 1888.

Compteur horaire Richard. — Se compose d'un mouvement d'horlogerie remonté automatiquement toutes les 20 secondes. Le courant attire un électro-aimant armant un ressort à boudin servant de moteur; le mouvement de l'électro-aimant interrompt en même temps le courant qui n'est refermé automatiquement qu'au bout de 20 secondes.

Brevet français 207532 du 9 août 1890.

Addition du 17 mars 1891.

Horaire Cauderay. — Moteur à balancier dont le mouvement oscillatoire est entretenu par l'attraction d'une pièce de fer sur deux électro-aimants symétriquement placés. Le courant est envoyé périodiquement à l'aide d'un dispositif analogue à celui employé dans les pendules Hipp.

Brevet allemand 23542 du 6 avril 1883.

Compteur Villon. — Compteur horaire du genre Aubert, marchant 500 heures et dont le balancier est rendu libre, lors du passage du courant; il comporte en outre un interrupteur placé à la partie inférieure de l'appareil. Dans certains appareils l'interrupteur est remplacé par un déclenchement électrique obtenu à l'aide d'un électro-aimant logé dans le socle.

Brevet français 243497 du 7 décembre 1894.

Horaires Frager. — Moteur à balancier du genre de l'horaire Cauderay, mais à système de distribution du courant dans les électro-aimants moteurs complètement différent.

Il existe un horaire avec bobine centrale, appelé moteur à tourelles et un à bobine excentrée. Tous les deux ont le même système de distribution. Dans les deux, les contacts d'entretien du mouvement sont donnés par un système de verrous circulaires à encoches, qui ne viennent en coïn-

cidence, pour permettre un nouveau lancé, que lorsque l'amplitude de l'oscillation a suffisamment diminué.

Brevet allemand 58485 du 23 septembre 1890.

Compteur Ungerer. — Compteur horaire multiple. Il se compose d'un cylindre, mû par un mouvement d'horlogerie, autour duquel sont disposés une série de pignons correspondant aux différents groupes de lampes. Chacun de ces pignons se met en contact avec le cylindre lors du passage du courant, et le mouvement est toujours transmis par une horlogerie.

Compteur Hoster. — Compteur horaire du genre Aubert.

Nous n'avons pas trouvé les brevets.

Garnot. Compteur horaire multiple. — Cet appareil se compose d'un axe animé d'une rotation régulière et uniforme, par un mouvement d'horlogerie, et traversant en leurs centres un certain nombre de roues qui correspondent à chacun des groupes de lampes.

Chacune de ces roues, fixée sur l'axe à frottement dur, est maintenue dans une position fixe au moyen d'un cliquet, commandé par un électro-aimant et n'est entraînée par l'axe que pendant la durée du passage du courant. Le déplacement angulaire de chaque roue correspondant à la durée d'utilisation du courant, il suffit, pour obtenir le débit, de relever et totaliser chaque mois les déplacements angulaires de chacune des roues.

Brevet français 212321 du 24 mars 1891.

» 215921 du 4 septembre 1891.

» 213036 du 25 avril 1891.

DISTINCTIONS HONORIFIQUES.

Les Membres de la Société dont les noms suivent ont été nommés chevaliers de la Légion d'honneur :

BERNHEIM (Edmond), Ingénieur des Arts et Manufactures.

BRILLOUIN (Marcel), Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.

PÉRIODIQUES ÉTRANGERS.

MÉMOIRES ORIGINAUX.

ALLEMAGNE.

Elektrotechnische Zeitschrift.

31/10. — Nouvelle exploitation électrique du chemin de fer métropolitain de New-York (*fin*); *A. Hruschka*. — Marche en parallèle des alternateurs; *H. Meyer*. — Calcul des générateurs polyphasés; *K. Pichelmayer*. — Système multiple téléphonique Siemens; *P. Krösing*.

7/11. — Calcul du travail de traction des moteurs; *M. Müller*. — Moteurs de traction à grande vitesse et compensation de phase; *A. Heyland*. — Loi de l'induction magnétique; *E. Müllendorff*. — Système... (*suite*); *P. Krösing*.

14/11. — Contribution au calcul du diagramme des moteurs d'induction; *O. Weisshaar*. — Mesure du glissement des moteurs asynchrones; *A. Schweitzer*. — Système (*fin*); *P. Krösing*.

21/11. — Automobiles électriques à canalisation aérienne; *M. Schiemann*. — Théorie de la commutation; *K. Pichelmayer*. — Nouveau perméamètre; *Lamb et Walker*. — Règlement pour les installations à haute tension.

28/11. — Station centrale de Crottorf (Saxe) à haute tension; *R. Apt*. — Influence des proportions des encoches sur les propriétés des dynamos; *M. Corsepius*. — Coups de foudre, enseignements à en tirer; *F. Neesen*.

5/12. — Proposition pour la réforme des tarifs; *K. Wilkens*. — Influence... (*suite*); *M. Corsepius*. — Calcul des câbles des réducteurs pour accumulateurs; *E. Hunke*.

12/12. — Compoundage des alternateurs; *A. Heyland*. — Influence... (*fin*); *M. Corsepius*. — Mesure mécanique du glissement; *E. Ziehl*. — Accident singulier arrivé à un transformateur; *W. Kübler*. — Influence des pertes sur les lignes aériennes du système Pupin; *F. Breisig*.

19/12. — Mesures des courants vagabonds; *A. Larsen et S. Faber*. — Lieux géométriques dans les diagrammes de courants alternatifs; *M. Schenkel*. — Parafoudre à cornes armés; *E. Klein*. — Mesures sur un câble téléphonique avec bobines d'induction; *F. Breisig*.

26/12. — Calcul de la chute de tension des alternateurs; *Fischer-Hinnen*. — Moteur asynchrone employé comme synchrone; *E. Danielson*. — Protection automatique des moteurs de treuils par les démarreurs; *R. Krause*. — Influence du champ terrestre sur les instruments de précision; *K. Windmüller*.

Central Blatt für Accumulatoren und Elementenkunde.

1/12. — Formation électrolytique du peroxyde de plomb (*suite*); *F. Peters*. — Accumulateurs américains pour automobiles (*fin*).

15/12. — Formation... (*suite*); *F. Peters*.

AMÉRIQUE.

Electrical World and Engineer.

16/11. — Développement des réseaux de trolley au Michigan; *E. Hart*. — Économie et rapidité des systèmes télégraphiques; *R. Hitchcock*.

23/11. — Elévation de tension dans les circuits alternatifs; *R. Kenelly*. — Mesure du décalage dans les systèmes triphasés au moyen d'un wattmètre; *A. Mc. Allister*. — *Eléments (suite)*; *L. Bell*.

30/11. — Induction dans l'entrefer; *F. Carter*. — Transmission d'énergie de la Susquehanna; *O. Waters*.

7/12. — Théorie de l'élément fer-nickel d'Edison; *E. Rocher*. — Système de la Maryland Telephone and Telegraph Co; *K. Miller*. — Installation et exploitation de téléphones; *A. Abbott*.

14/12. — L'Electricité à l'Exposition de Charlestown; *C. Malcolmson*. — Essais des générateurs et moteurs à courant continu; *L. Smith*. — Installation... (*suite*); *A. Abbott*. — Distribution triphasée, son application à l'utilisation des circuits monophasés; *W. Emmet*.

21/12. — Installation... (*suite*); *A. Abbott*. — Développement du téléphone dans l'Indiana; *R. Fisher*.

Transactions of the American Institute of Electrical Engineers.

Octobre. — Principes fondamentaux des compteurs C. Haskins; *C. Haskins*. — Des compteurs; *H. Davis*. — Recherches théoriques sur des oscillations de très haut potentiel dans les transmissions à haute tension; *C. Steinmetz*. — Variations angulaires des moteurs à vapeur; *P. Keilholtz*. — Marche en parallèle des alternateurs; *W. Schlichter*. — Marche en parallèle des alternateurs; *J. Berg*.

Novembre. — Distribution dans les grandes villes; *L. Ferguson*. — Localisation des défauts dans les câbles souterrains; *H. Stott*. — Distribution par câble à haute tension à Buffalo; *C. Scott*. — Notes sur la distribution par courants alternatifs; *S. Barstow*. — Distribution triphasée avec circuits monophasés; *R. Emmet*. — Distribution dans les villes d'importance moyenne; *W. Robb*. — Distribution à 3 fils, 500-250 volts, pour lumière et force motrice; *P. Torchio*.

The Journal of the Franklin Institute.

Novembre. — Transformateur à courant constant pour éclairage à arcs en série.

Décembre. — Emploi de l'électricité dans les mines; *E. Church*.

ANGLETERRE.

The Electrician.

22/11. — City and South Railway. — Perméamètre à lecture directe; *F. Baily*. — Courants polyphasés (*suite*); *C. Éborall*. — Câbles à haute tension; *H. Schäfer*.

29/11. — Théorie électromagnétique (*suite*); *O. Heaviside*. — Pertes d'énergie dans

les accumulateurs; *B. Hopkinson*. — Expériences sur les variations périodiques du courant d'excitation d'un alternateur homopolaire; *W. Duddell* et *F. Marchant*. — Recherches sur la pression de la lumière; *P. Lebedew*.

6/12. — City and South Railway (*suite*). — Résistance des trains; *I. Aspinall*. — Pertes d'énergie... (*fin*); *B. Hopkinson*. — Recherches (*fin*); *P. Lebedew*. — Perméamètre pour essais de grandes masses; *C. Drysdale*. — Courants polyphasés (*suite*); *C. Eborall*.

13/12. — Transporteurs de charbon à Edimbourg. — Avantages relatifs des divers systèmes de distribution pour alimenter des réseaux à basse tension; *B. Field*. — Expériences... (*fin*); *W. Duddell* et *F. Marchant*. — Production électrolytique des chlorates; *J. Kershaw*. — Courants polyphasés (*suite*); *C. Eborall*.

20/12. — City and South Railway (*suite*). — Avantages... (*fin*); *B. Field*. — Notes sur les diagrammes de courants alternatifs; *W. Sumpner*. — Courants polyphasés (*suite*); *C. Eborall*. — Principes pour la vente de l'électricité; *A. Wright*.

27/12. — Principes... (*suite*); *A. Wright*. — Courants polyphasés (*suite*); *C. Eborall*.

Electrical Review.

22/11. — Machines-outils à l'Exposition de Glasgow; *F. Bathurst*. — Automobiles électriques; *H. Joel*.

29/11. — Machines-outils (*suite*); *F. Bathurst*. — Grues électriques (*fin*); *W. Rung*. — Effets destructeurs et mortels des courants à haute tension; *M. Cleaves*.

6/12. — Effets destructeurs... (*suite*); *M. Cleaves*.

13/12. — Tramways souterrains; *G. Wordingham*. — Système F. Sprague appliqué à Boston.

20/12. — Comparaison du trolley et des accumulateurs; *E. Gilbert*. — Système Sprague (*suite*).

27/12. — Système Sprague (*fin*). — Essais des moteurs électriques; *P. White*. — Machines-outils (*suite*); *F. Bathurst*. — Effets destructeurs (*suite*); *M. Cleaves*.

Journal of the Institution of Electrical Engineers.

Décembre. — Congrès international de Glasgow.

Note sur les objets les plus intéressants de l'Exposition de Glasgow; *W. Sayers*. — Voiture électrique rapide de l'A. E. G. de Berlin; *O. Lasche*. — Dangers du trolley, et mesures de précaution; *A. Jamieson*. — Compteurs électrolytiques; *J. Dick*. — Comparaison des systèmes mono, di et triphasés pour l'alimentation des réseaux à basse tension; *M. Field*. — Machines modernes à collecteur; *H. Hobart*. — Calcul des dynamos à courant continu; *H. Mavor*.

AUTRICHE.

Zeitschrift für Elektrotechnik.

24/11. — Triphasé contre courant continu; *E. de Fodor*. — Voiture... (*suite*).

1/12. — Triphasé... (*fin*); *E. de Fodor.* — Voiture... (*suite*).

8/12. — Voiture... (*fin*). — Appareil pour déterminer la fréquence d'un courant alternatif; *I. Löwy.*

13/12. — Transformateurs à noyaux à rendement maximum; *F. Punga.*

22/12. — Transformateurs... (*fin*); *F. Punga.* — Stations récentes de transformateurs; *F. Winawer.*

29/12. — Moteurs d'induction à vitesse réglable.



BIBLIOGRAPHIE.

La Mécanique à l'Exposition de 1900, publiée sous la direction de M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE, Membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines; de M. GUSTAVE RICHARD, Secrétaire de la rédaction, et d'un Comité composé des principaux ingénieurs du Corps des Mines et des Ponts et Chaussées. Collection d'environ vingt fascicules format 22 × 32, qui comprendra environ 1500 pages avec de très nombreuses figures. Veuve Ch. Dunod, éditeur, Paris.

Comme l'*Électricité à l'Exposition de 1900*, cette collection sera un monument considérable lorsqu'elle sera complète. La simple nomenclature des sujets traités en donnera une idée sommaire.

INSTALLATIONS MÉCANIQUES DE L'EXPOSITION, par M. Eude, ingénieur du service des installations mécaniques.

CHAUDIÈRES, par M. Belleus, ingénieur civil.

MOTEURS A VAPEUR, A GAZ, A PÉTROLE, ET DIVERS, par M. Deschamps, ingénieur civil.

RÉGULATEURS, par M. Lecornu, ingénieur en chef des Mines.

MOTEURS HYDRAULIQUES, par M. Rateau, ingénieur des Mines.

MACHINES MARINES, par M. Demoulin, ingénieur des Arts et Manufactures.

MACHINES AGRICOLES, par M. Ringelmann, ingénieur au Ministère de l'Agriculture.

MACHINES-OUTILS, par MM. G. Richard, ingénieur civil des Mines, et Chevrier, ingénieur des Arts et Manufactures.

MACHINES A BOIS, par M. Maglin, ingénieur des Arts et Manufactures.

MACHINES FRIGORIFIQUES, par M. G. Richard, ingénieur civil des Mines.

MACHINES DIVERSES, par plusieurs collaborateurs.

MÉCANIQUE DE PRÉCISION, DYNAMOMÈTRES, ETC., par M. Rozé, répétiteur à l'École Polytechnique.

MÉCANIQUE DE LA FORGE, par M. Gérard Lavergne, ingénieur civil des Mines.

MÉCANIQUE DES MINES, par M. H. Rouy, ingénieur civil des Mines.

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ, par M. Bunet, ingénieur électricien.

AIR COMPRIMÉ, par M. Darbet, ingénieur des Arts et Manufactures.

POMPES, par M. Masse, ingénieur civil des Mines.

APPAREILS DE LEVAGE ET DE MANUTENTION, par M. Masse, ingénieur civil des Mines.

APPAREILS DE DRAGAGES, par M. Masse, ingénieur civil des Mines.

ACCUMULATEURS, PRESSES, ASCENSEURS HYDRAULIQUES, par M. Bassère, ingénieur en chef de la C^e de Fives-Lille.

AUTOMOBILES ET VÉLOCIPÉDIE, par M. Chauveau, ingénieur civil.

ARTILLERIE, par le Colonel Y.

MÉCANISMES DE TRANSMISSIONS, POULIES, EMBRAYAGES, ENGRENAGES, ETC., par M. Maglin, ingénieur des Arts et Manufactures.

APPAREILS DE SÉCURITÉ, par M. Amy, directeur de l'Association des industriels de France contre les accidents du travail.

APPAREILS DE GRAISSAGE, par M. Maglin, ingénieur des Arts et Manufactures.

Les Auteurs, documentés aux meilleures sources, ont eu pour objectif de donner un compte rendu impartial et complet de la Mécanique générale à l'Exposition de 1900.

Cette intéressante publication, commencée en juin 1900, se continue depuis.

Dans le premier fascicule (92 pages, 127 figures, 5 planches), M. Eude fait connaître les importantes installations mécaniques des groupes électrogènes en service à l'Exposition : chaudières, carneaux à fumée, cheminées monumentales, galeries et tuyauteries de vapeur, d'échappement, de condensation et de purges, etc.

Ce travail résume toutes les études de cette colossale installation.

Les chaudières ont été décrites en détail par M. Bellens dans le deuxième fascicule (141 pages, 70 figures), qui présente un intérêt capital. L'Auteur débute par des considérations générales sur la circulation de l'eau dans les chaudières et expose les théories de MM. Babcock, Brillié, Krams, Walckenaer, de Chasseloup-Laubat, Bellens.

Ces théories sont ensuite appliquées aux chaudières exposées et confirmées par les expériences effectuées sur les générateurs en service.

Le quatrième fascicule (80 pages, 100 figures) est relatif aux moteurs à gaz, à pétrole et à air comprimé. Parmi les moteurs qui méritent de fixer l'attention, il convient de citer le moteur *Simplex* de 700 chevaux construit par la Société Cockeril et le moteur *Triplex* à surcompression variable par le régulateur, de M. Letombe.

Depuis 1900 on a déjà vu apparaître un nouveau moteur, celui à alcool. Une exposition récente vient de faire entrevoir toute la place qu'il occupera bientôt dans l'industrie.

Dans le sixième fascicule, consacré aux pompes (86 pages, 143 figures), on trouvera une description détaillée de l'importante installation réalisée avec des pompes Worthington pour assurer le service des eaux à l'Exposition, notamment la distribution aux fontaines du Château d'eau.

Les appareils de levage et de manutention font l'objet du huitième fascicule (108 pages, 136 figures). Les grues et ponts roulants électriques sont nombreux et de grande puissance. Citons la grue Titan et les ponts roulants de 25' et 30' de Carl Flohr et d'ÖErlikon.

Dans ce fascicule, M. R. Masse décrit encore la plate-forme mobile de Mocomble et les divers systèmes de tapis élévateurs qui ont fonctionné à l'Exposition.

Le onzième fascicule (56 pages, 48 figures) consacré à la mécanique de la forge, nous fait connaître les dispositions modernes des hauts fourneaux, les procédés de compression de l'acier pendant la coulée et son travail ultérieur au pilon à la presse hydraulique et au laminoir.

Le quatorzième fascicule (224 pages, 363 figures) ainsi que le quinzième (165 pages, 205 figures) familiariseront le lecteur avec des sujets un peu spéciaux : le matériel agricole et le matériel d'artillerie.

Enfin le dix-septième fascicule, dernier paru à ce jour (68 pages, 76 figures), traite des applications mécaniques de l'Électricité. Nous y remarquons surtout les procédés de commande électrique des machines-outils, des signaux de chemins de fer, des projecteurs, des haveuses et des perforatrices de mines; les divers systèmes de traction électrique et de transmission à distance de la force motrice par l'Électricité.

Comme pour l'*Électricité à l'Exposition*, nous reviendrons en temps utile sur cette belle publication.



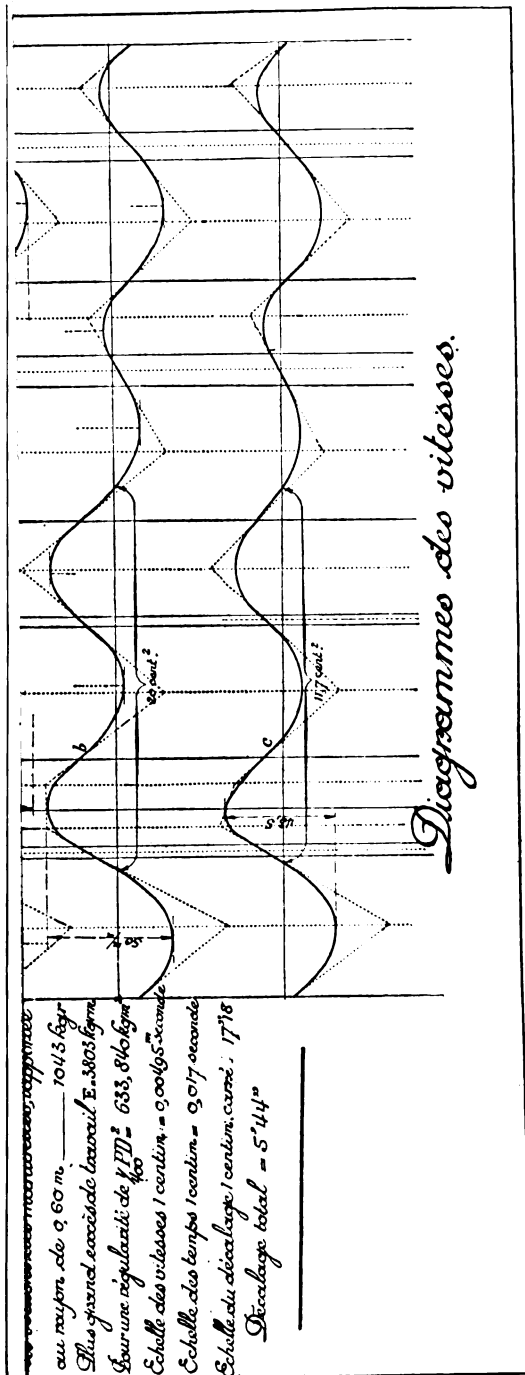
LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

France.

- Annuaire pour l'an 1902 publié par le Bureau des Longitudes.* Avec des Notices scientifiques. Paris, Gauthier-Villars, 1902; 1 vol. petit in-8, broché. (*Don de l'Éditeur.*)
- Au pays de la houille blanche. Études électrotechniques. — Législation des cours d'eau, sources, rivières, cours d'eau non navigables.* Manuel pratique..., par PAUL BOUGAULT, avocat à la Cour d'appel de Lyon. Grenoble, Alex. Gratier et C^{ie}, 1902; dépôt à Paris à la librairie H. Desforges; 1 vol. grand in-8, broché. (*Don des Éditeurs.*)
- Bateaux (Les) sous-marins et les submersibles,* par R. d'EQUEVILLY. Paris, Gauthier-Villars, Masson et C^{ie}, sans date [1902]; 1 vol. petit in-8, broché. (*Encyclopédie des Aide-Mémoire.*) (*Don des Éditeurs.*)
- Guide pratique de télégraphie hertzienne sans fil aux grandes distances.* — *La télégraphie hertzienne sans fil aux grandes distances,* par E. Ducretet, constructeur, 75, rue Claude-Bernard, Paris. Paris, 1901, chez l'auteur; 2 brochures in-8, avec figures. (*Don de l'Auteur.*)
- Mécanique (La) à l'Exposition de 1900,* publiée en fascicules grand in-4 par la librairie V^o Ch. Dunod, Paris. Parues en 1900-1901 les première, deuxième, quatrième, sixième, huitième, onzième, quatorzième, quinzième et dix-septième livraisons. (*Don de l'Éditeur.*)
- Mesures électriques. — Essais industriels,* par EUG. VIGNERON. Paris, Gauthier-Villars, Masson et C^{ie}, sans date [1902]; 1 vol. petit in-8, broché, avec 58 figures. (*Encyclopédie des Aide-Mémoire.*) (*Don des Éditeurs.*)
- Théories électriques (Les) de J. Clerk Maxwell.* Étude historique et critique, par M. P. Duhem. Paris, librairie scientifique A. Hermann, 1902; 1 vol. grand in-8, broché. (*Don de l'Éditeur.*)
-



Echelle réduite de deux tiers.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Amortissement de l'emprunt Laboratoire, p. 83. — Discussion sur la télégraphie sans fil (M. **Claude**), p. 85; (M. le Capitaine **Ferrié**), p. 99. — Discussion sur les canalisations électriques (M. **Grosselin**), p. 104; (M. **Gay**), p. 111; (M. **Brylinski**), p. 115; (M. **Picou**), p. 128; (MM. **Geoffroy** et **Delore**), p. 131. — Le chemin de fer métropolitain de Paris (M. **Détroyat**), p. 136.

CORRESPONDANCE, p. 156.

Appendice (M. **Alfred Van der Stegen**), p. 157.

PÉRIODIQUES ÉTRANGERS, p. 161.

BIBLIOGRAPHIE, p. 164.

OUVRAGES OFFERTS, p. 167.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 5 février 1902 (1).

PRÉSIDENCE DE M. A. HILLAIRET.

La séance est ouverte à 8^h 30^m soir.

Le procès-verbal de l'Assemblée générale extraordinaire et de la réunion mensuelle du 8 janvier 1902 est adopté.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Bibliothèque et des demandes d'admission suivantes :

MM.

- Bajetto** (Pio), Élève à l'École supérieure d'Électricité, 28, rue Saint-Vincent-de-Paul, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Bankir** (Jakoff), Ingénieur civil des Mines, élève à l'École supérieure d'Électricité, 45, rue de Maubeuge, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Bayol** (Paul), Ingénieur des Postes et Télégraphes, Chef du Service des Câbles sous-marins et de l'Usine de la Seyne, à la Seyne (Var). — Présenté par MM. Picard et Sabourain.
- Biver** (Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, Élève à l'École supérieure d'Électricité, 16, rue Cuvier, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Bouillant** (Alfred), Ingénieur, 39, rue du Général-Foy, à Paris. — Présenté par MM. E. Sartiaux et Aliamet.
- Château** (Paul), Élève à l'École supérieure d'Électricité, 6, rue Houdon, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Cornabat** (René), Élève à l'École supérieure d'Électricité, 53, boulevard Saint-Marcel, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Delafor** (Philippe), Ingénieur, 128, rue de la Convention, à Paris. — Présenté par MM. E. Sartiaux et Aliamet.
- Demarchez** (Georges), Élève à l'École supérieure d'Électricité, 30, rue Ernest-Renan, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Élie-Lefebvre** (Aymar), Élève à l'École supérieure d'Électricité, 74, rue d'Assas, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Galanis** (Charilaüs), Lieutenant du Génie hellénique, Élève à l'École supérieure d'Électricité, 7, rue Racine, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Gay**, Ingénieur de la *Société industrielle des Téléphones*, 25, rue du Quatre-Septembre, à Paris. — Présenté par MM. Meyer-May et Risler.
- Gratzmuller** (Louis), Ingénieur à la *Société des Établissements Postel-Vinay*, 15, rue Faraday, à Paris. — Présenté par MM. Leblanc et Mix.
- Grugnet** (Léon), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur à la *Société de locomotion électrique*, 89, rue Truffaut, à Paris. — Présenté par MM. Damoiseau et Mazon.
- Jullin** (Alexis), Dessinateur, Bureau des Études, *Compagnie P.-L.-M.*, 20, boulevard Diderot à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Latour** (Marius), Ingénieur, 52, rue de la Monnaie, à Sèvres. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Lefèvre** (Gustave), Élève à l'École supérieure d'Électricité, 16, rue Ernest-Renan, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Meirelles da Silva** (Lino), Ingénieur, Élève à l'École supérieure d'Électricité, 20, rue de Staël, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Mercier** (René), Ingénieur-Électricien, 20, rue Cujas, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Mongin** (Émile), 2, rue Bague, à Montmorency (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

MM

- Petropoulos** (Georges), Lieutenant d'Artillerie hellénique, Élève à l'École supérieure d'Électricité, 16, rue Ernest-Renan, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Pontcharra** (Fernand de), Ingénieur des Arts et Manufactures, Élève à l'École supérieure d'Électricité, 20, avenue Rapp, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Saivre** (Maurice de), Élève à l'École supérieure d'Électricité, 52, rue de Vaugirard, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Soulé** (D.), Fabricant d'appareillage électrique, à Bagnères-de-Bigorre. — Présenté par MM. Laffargue et Grosselin.
- Stanceano** (Victor), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Élève à l'École supérieure d'Électricité, 1, rue Clovis, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Stévenin** (Eugène), Élève à l'École supérieure d'Électricité, 6, rue Tournefort, Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Texier-Bernier** (Georges), Élève à l'École supérieure d'Électricité, 174, rue de Vaugirard, à Paris. — Présenté par MM. P. Janet et Chaumat.
- Violot** (Raoul), Élève à l'École supérieure d'Électricité, 18, rue de Staël, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Wait** (Henry), 259, South Clinton Street, à Chicago. — Présenté par MM. Hamilton et Carl Hering.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

Des remerciements sont adressés aux auteurs des dons suivants qu'a reçus la Société :

CLASSE 25 DE L'EXPOSITION DE 1900 ET M. H. FONTAINE. 1000^{fr}.

SOCIÉTÉ POUR LA TRANSMISSION DE LA FORCE PAR L'ÉLECTRICITÉ.....

Transformateurs redresseurs
de MM. Hutin et Leblanc.

COMPAGNIE CONTINENTALE POUR LA FABRICATION DES
COMPTEURS.....

1 compteur Vulcain, 5 am-
pères, 110 volts.

POLLAK..... 4 clapets électrolytiques.

Il est fait part du décès de MM. Fortin-Hermann et Fournier (Victor), membres de la Société, au nom de laquelle M. le Président adresse ses regrets aux familles.

M. le PRÉSIDENT fait savoir que, conformément aux décisions prises par le Comité d'administration, l'amortissement de l'emprunt por-

tera, en 1902, sur 90 obligations. Par les soins de la Commission de l'emprunt, il a été procédé, le 1^{er} février courant, au tirage au sort des 90 titres ci-après :

2	87	140	221	326	399	466	509	554
6	90	155	234	328	403	469	514	556
11	92	163	245	337	416	471	518	562
22	98	166	250	339	418	475	524	571
25	106	167	262	351	420	490	528	573
29	110	169	288	355	423	491	529	576
47	122	171	289	360	430	494	538	585
53	134	174	292	368	440	497	543	594
55	137	188	299	379	457	501	548	596
57	139	217	312	398	463	508	553	597

Le remboursement de ces obligations sera effectué au siège social, 140, rue de Staël, à partir du 1^{er} avril prochain.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

DISCUSSION SUR LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL.

M. G. CLAUDE. — « Messieurs, la télégraphie sans fil est une science si nouvelle encore, et qui s'écarte tellement de tout le déjà vu, que nous autres, électriciens d'hier, avons quelque difficulté à suivre ses adeptes dans le nouveau langage, dans les nouvelles théories qui ont été créées pour les besoins de la cause.

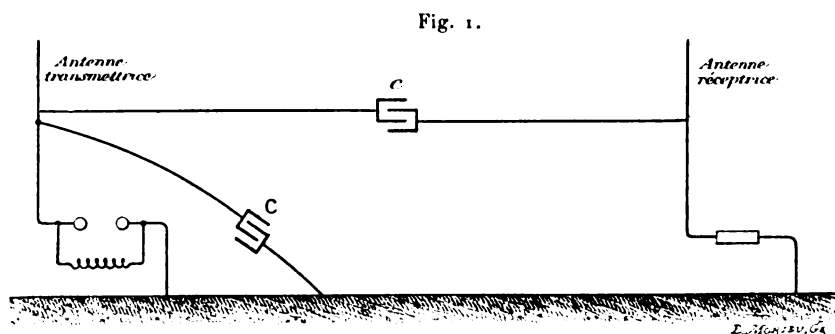
» Je ne voudrais pas qu'on pût voir dans cette observation préliminaire une critique que je serais bien mal venu à formuler. Je suis intimement persuadé, bien au contraire, que c'est l'étude attentive des phénomènes observés qui a montré la nécessité de ces théories, et que si des explications plus simples peuvent séduire des profanes tels que moi, c'est qu'ils n'ont pu se rendre compte *de visu* de la difficulté de faire cadrer les théories simplistes ainsi conçues avec les faits et avec les objections soulevées par la pratique.

» Mais, précisément dans le désir de nous faire apparaître nettement les mobiles dont on s'est inspiré en cette circonstance, je voudrais indiquer comment il me semble qu'on pourrait envisager la question de la télégraphie sans fil et expliquer, par des raisonnements simples, la majeure partie des phénomènes qui ont été signalés. Et, cela fait, je demanderai à M. le Capitaine Ferrié, qui nous a apporté à la dernière séance le résumé si net des idées actuelles, de vouloir bien nous dire quelles objections graves — on voit que je ne me fais pas d'illusions — on peut très certainement opposer à cette manière de voir.

» Je dois ajouter que si, moi profane, je prends à cette discussion une part pour laquelle je ne suis certainement pas qualifié, j'ai cependant une raison pour le faire. On se rappelle peut-être les essais que, en collaboration avec M. Bombes de Villiers, j'ai entrepris l'année dernière sur l'application des courants de haute fréquence à la localisation des défauts d'isolement. Au cours de ces recherches nous avons vu la capacité jouer à propos de tout et à propos de rien un rôle si important, nous avons vu les phénomènes extravagants

rencontrés à chaque pas obéir en réalité, de façon si constante, à nos théories habituelles et ne devoir leur étrangeté apparente qu'aux énormes fréquences mises en jeu, que je me suis demandé si l'intervention des phénomènes de capacité et de nos modes de raisonnement habituels ne suffirait pas à établir la théorie de la télégraphie sans fil.

» Ainsi, pour tout dire en deux mots, je pense après beaucoup d'autres, et je me propose d'en donner des raisons, que le facteur qui prédomine dans les relations entre les deux antennes de la télégraphie sans fil, ou qui tout au moins y peut jouer beaucoup plus que le rôle auquel le réduit M. Ferrié (¹), c'est la capacité électrostatique, combinée d'ailleurs avec la conductibilité de la terre. L'antenne transmettrice (*fig. 1*) présente, par rapport à la terre, une



Mécanisme de la transmission.

certaine capacité relativement considérable, et de cette capacité C une infime partie c , suffisante cependant grâce à l'extrême sensibilité des récepteurs actuels, est afférente à la seconde antenne. Le mécanisme serait alors le suivant : pendant la montée du potentiel de la bobine, montée relativement très lente, le condensateur C ainsi que c , car la résistance du cohéreur même non excité n'est pas infinie, se chargent progressivement, grâce à la conductibilité de la terre ; cette charge, d'ailleurs, se fait sans oscillations, parce que le circuit de charge comprend la grande résistance du circuit de haute tension de la bobine. A un moment donné, la différence de potentiel entre les deux boules de l'oscillateur atteint la tension disruptive et une

(¹) Il est bien probable que, comme le suppose M. Blondel, on ne peut baser les phénomènes de la télégraphie sans fil sur l'intervention d'un seul ordre de faits.

étincelle éclate entre elles. Cette étincelle, chaude et conductrice, se substitue brusquement au circuit à fil fin de la bobine et fournit alors un circuit de résistance *ohmique* très faible comprenant, outre la terre et l'antenne, tout le champ électrique de cette dernière. Dans ce circuit prennent alors naissance des oscillations extrêmement rapides dues à l'action combinée de la self-induction du fil de l'antenne et de la capacité.

» Une fraction du courant oscillatoire est afférente au petit condensateur *c*, et c'est cette minuscule fraction, seule partie utile de toute l'énergie dépensée, qui produit les phénomènes de cohérence utilisés pour la transmission des signaux.

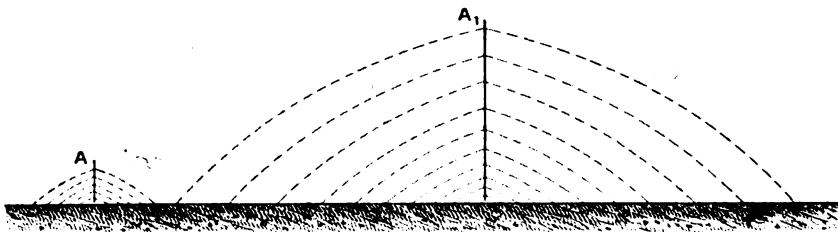
» Je sais que cette interprétation a été donnée plusieurs fois déjà, et je sais même qu'on a objecté qu'elle était inexacte, parce qu'elle nécessiterait que l'énergie des actions varie en raison inverse du *cube* de la distance et cesse dès lors d'être perceptible à très courte distance. Je n'ai pas très bien compris ce raisonnement; car, étant donné que l'énergie rayonnée par l'antenne, intégralement transmise par l'éther sous forme de courants de capacité, ne fait que s'étaler à la surface du sol, ce ne serait que la loi de l'inverse du *carré* des distances qu'il y aurait lieu d'admettre, ce qui semble très possible.

» Supposant donc admise l'influence de la capacité, il y a lieu, pour augmenter les effets, de rendre aussi grande que possible la capacité d'une antenne par rapport à l'autre. Or, on augmente la portée, nous dit-on, en élevant de plus en plus l'antenne transmettrice. A première vue, on pourrait croire que cependant ceci ne modifie pas la capacité relative des deux antennes, puisque les formules ordinaires de l'Électrostatique nous montrent que d'habitude cette capacité dépend de la surface des électrodes et de leur distance, auxquelles nous ne changeons rien ou pas grand'chose. Mais, à ces grandes distances, la *forme* du champ électrique, la courbure des lignes de force doivent intervenir: sans doute peut-on admettre que si l'antenne A, de faible hauteur (*fig. 2*), produit un champ électrique comme celui-ci, cette autre A₁, plus élevée, fournira un champ *semblable* qui *portera* beaucoup plus loin, pour la même raison que l'horizon recule quand on s'élève en ballon. Mais, à hauteur égale, l'horizon électrique est infiniment plus lointain que l'horizon visuel

par suite de la courbure que peuvent affecter les lignes de force électriques. La capacité entre les deux électrodes n'apparaîtrait donc, ou du moins ne commencerait à devenir appréciable que pour une certaine hauteur minima de l'antenne transmettrice.

» Il est vrai que, dans cette hypothèse, le gain réalisé sur la portée ne croîtrait guère que proportionnellement à la hauteur et non à son carré, comme il paraît qu'on l'a constaté. Mais il est possible que cette loi du carré, tout à fait empirique, ait été établie

Fig. 2.



Deux antennes A A₁ produisent des champs électriques semblables.

un peu au sentiment, à la faveur de cohérences... instinctivement ou fortuitement plus sensibles, de bobines un peu plus poussées pour les grandes distances.

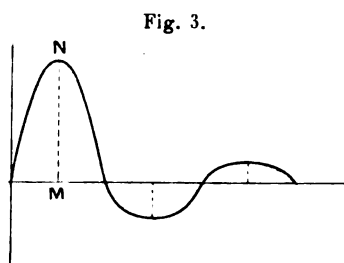
» Quoi qu'il en soit, au surplus, je ne sache pas qu'il existe encore dans aucune théorie d'explication bien nette de la loi du carré de la hauteur d'antenne ⁽¹⁾.

» J'en viens maintenant à un point important.

» Quand on augmente la hauteur de l'antenne, dit M. Ferrié, on n'augmente évidemment presque pas sa capacité, par suite de la distance de plus en plus grande de la partie ajoutée. Et pourtant on augmente beaucoup le rayonnement, car la bobine a de plus en plus de peine à satisfaire au débit. Or, comme dans ces conditions on augmente la portée, c'est du rayonnement de l'effluve émise par l'antenne, et non pas de sa capacité, que dépend la portée. Autre preuve, dit encore M. Ferrié : le pôle négatif porte plus loin que le pôle positif. Il y a là matière à discussion. En ce qui concerne d'abord le fait d'une

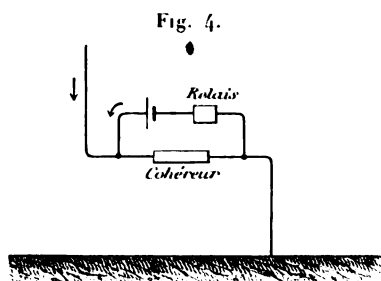
⁽¹⁾ En particulier, l'interprétation, beaucoup plus élégante, qui met cette augmentation de portée sur le compte de l'augmentation de la diffraction avec la longueur d'onde, semble aussi impuissante à expliquer ce gain si rapide de portée.

polarité favorable, il ne serait pas impossible de trouver une explication différente. Les oscillations de la télégraphie sans fil sont, d'après les essais du lieutenant Tissot, rapidement amorties, puisque la deuxième ou la troisième oscillation au plus sont encore appréciables, tandis qu'on peut voir jusqu'à la vingtième ou trentième dans le montage que vous avez sous les yeux. Il en résulte que le courant oscillatoire qui détermine les phénomènes de cohérence présente l'allure ci-indiquée (*fig. 3*), et il est bien probable, dès lors, et sauf exception pour les cas de télégraphie syntonique où les phé-



C'est vraisemblablement le premier maximum MN qui provoque le phénomène de cohérence.

nomènes de résonance ont à intervenir, que c'est le premier maximum du courant qui détermine la cohérence; car, si celui-là est



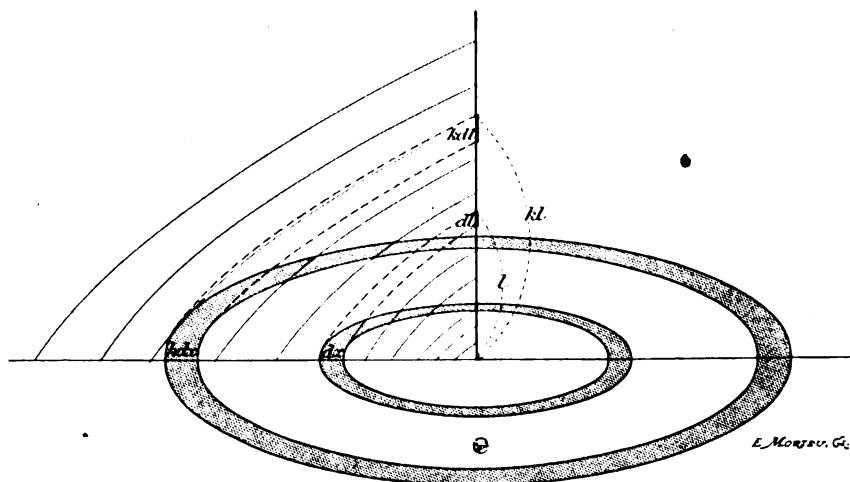
L'effet de la première décharge sur le cohéreur sera beaucoup facilité si la pile tend à fournir un courant de même sens.

impuissant, les autres le seront à bien plus forte raison. Or le sens de ce premier courant est bien déterminé : il dépend uniquement de la polarité de l'antenne transmettrice; d'autre part, il est évident que ce courant provoquera bien plus facilement le phénomène de cohérence s'il est de même sens que celui que tend à produire (*fig. 4*)

la pile couplée sur le cohéreur ⁽¹⁾. Donc il y aurait bien une polarité favorable de l'antenne, mais elle serait liée au mode de couplage de la pile réceptrice.

» D'un autre côté, il ne me semble pas impossible, à l'encontre de M. Ferrié, que, quand on élève l'antenne, la capacité augmente notablement, car, les lignes de force du champ électrique ne pouvant se couper (*fig. 5*), la capacité, par rapport à la terre, de l'élément de

Fig. 5.



À l'élément dl de l'antenne correspond l'anneau du sol d'épaisseur dx déterminée par la trajectoire des lignes de force émanées de dl ; à kdl correspond semblablement l'anneau kdx .

longueur dl , par exemple, placé à la hauteur l , sera uniquement déterminée par l'anneau du sol, d'épaisseur dx , qui se trouve sur la trajectoire des lignes de force électrique émanées de dl ; tandis qu'à l'élément kdl , situé à la hauteur kl , correspondra un autre anneau kdx , formant avec lui un condensateur géométriquement *semblable* à celui correspondant à dl et présentant par suite, malgré la distance, une capacité *totale* k fois plus grande, car les surfaces d'armature sont énormément augmentées; par conséquent, si la capacité relative à kdl est k fois plus grande que pour dl , la capacité linéaire le long de kdl doit être à peu près égale à celle le long de dl . Donc, *grosso modo*, et en tenant compte du fait que l'une des armatures kdl n'aug-

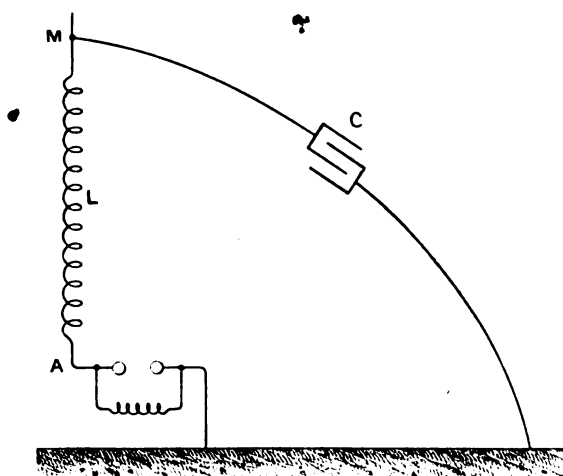
(1) Il ne faut pas oublier, en effet, que dans les conditions ordinaires de la pratique, la tension critique de cohérence (Blondel), la tension déterminée par le jeu de l'antenne et la force électromotrice de la pile sont exactement du même ordre de grandeur.

mente pas assez vite en surface pour que ce raisonnement soit exact, la capacité linéaire serait sinon constante à toutes les hauteurs, du moins assez lentement décroissante.

» Dès lors, cette capacité complémentaire ne serait pas négligeable quant à ses effets et pourrait parfaitement justifier l'augmentation de débit notée par M. Ferrié; d'ailleurs l'élévation de l'antenne, dans cette explication, est d'autant plus utile que cette augmentation de la capacité porte surtout sur la capacité utile, puisque c'est seulement le sommet de l'antenne qui rayonne à grande distance.

» Il faut bien remarquer, en outre, que l'antenne n'agit pas seulement comme l'armature d'un conducteur, mais aussi comme self-induction. En ne considérant, pour simplifier, que la capacité du haut de l'antenne, on a le montage (*fig. 6*), qui n'est autre, nous l'avons

Fig. 6.



Mécanisme de la production d'un ventre de force électromotrice au sommet de l'antenne.

remarqué, qu'un montage de haute fréquence ordinaire. Or, on sait bien que, dans un tel montage, lorsque les oscillations se produisent et que, par le pont conducteur de l'étincelle, le pied de l'antenne est mis à la terre, le potentiel par rapport à la terre augmente depuis le point A, voisin de l'oscillateur, jusqu'au sommet M de l'antenne ⁽¹⁾. On pourra se rendre compte du fait sur ce meuble de

⁽¹⁾ Cette conclusion ne serait pas modifiée si nous considérons la capacité répartie tout le long de l'antenne.

haute fréquence que M. Gaiffe a eu l'extrême obligeance de mettre à ma disposition, J'ai mis l'extrémité de la self du circuit oscillant à terre, et vous voyez que les tensions par rapport à la terre augmentent tout le long de la bobine pour atteindre leur maximum à son extrémité, qui représente pour nous le sommet de l'antenne. Si donc la capacité linéaire de l'antenne est un peu plus faible vers le sommet, c'est néanmoins là que, en vertu de la tension plus grande, la quantité d'énergie rayonnée par unité de longueur est la plus grande, d'où les résultats des photographies d'effluves de M. Tommasina. Une autre conséquence est à déduire de cette constatation. Le fait que la tension soit maximum au sommet de l'antenne s'explique tout naturellement par le mécanisme ordinaire de la décharge oscillante, sans qu'il soit besoin d'attacher aux expressions de nœud ou de ventre de force électromotrice le sens qu'y apporte M. Ferrié et qui met en cause la longueur d'onde des oscillations.

» Par exemple, je ne dirai pas, au sujet du montage de haute fréquence que vous avez ici sous les yeux, que la longueur de fil du solénoïde est de un quart d'onde, et j'aurai raison, car cette longueur de fil est de 5^m seulement. Or, ce montage fournit une fréquence d'environ un million d'oscillations par seconde, et comme la vitesse de propagation est de 300 millions de mètres par seconde, ceci me conduit à 75^m, et non pas à 6^m, pour le quart d'onde : nous sommes loin de compte, comme on voit (1).

» Il ne faut donc considérer dans le maximum de tension observé au sommet de l'antenne, ce me semble, que le résultat tout naturel de la répartition du potentiel le long de la self du circuit oscillant et ne pas y attacher d'autre signification. Et l'interprétation de M. Ferrié est vraisemblablement le fait d'une coïncidence fortuite qui aura du moins le mérite de nous fixer sur l'ordre de grandeur possible des fréquences employées en télégraphie sans fil. Puisqu'en effet 50^m à 100^m ont pu être considérés comme le quart de la longueur d'onde, il en résulterait une fréquence de l'ordre du million par

(1) Le temps périodique des oscillations dans un montage ordinaire de haute fréquence étant $2\pi\sqrt{LC}$, nous pouvons changer ce temps, donc la longueur d'onde, en modifiant C sans toucher à L, c'est-à-dire au fil constituant la self-induction. Donc la longueur de ce fil ne peut être proportionnelle à la longueur d'onde.

seconde, comme dans le dispositif que vous avez sous les yeux, ce qui me permettra de considérer comme applicables à la télégraphie sans fil les conclusions que je tirerai tout à l'heure à son aide.

» Tout au plus peut-on penser que, peut-être, il y a un maximum d'action quand la longueur d'antenne se trouve être égale à un quart d'onde.

» J'en viens maintenant au rôle de la terre. Ce rôle, que tous les expérimentateurs s'accordent à considérer comme fort important, a été très diversement expliqué.

» Les uns ont admis que la terre agissait pour diriger les ondes hertziennes, pour les concentrer au voisinage de sa surface.

» Les autres ont supposé qu'elle fonctionnait comme une immense capacité, sans résistance appréciable. D'autres encore, plus simplistes, ont émis l'opinion qu'elle agissait comme l'armature *conductrice* du vaste condensateur dont l'antenne transmettrice est l'autre électrode. Sachant avec quelle facilité la terre absorbe les courants, pourtant si intenses, qui circulent dans les rails les mieux jointés de nos réseaux de tramways, c'est naturellement à cette dernière hypothèse de la conductibilité de la terre que j'apporte mes préférences. Il est vrai qu'autre chose est, pour la terre, d'être conductrice pour le courant continu, ou pour les courants alternatifs d'énorme fréquence mis en jeu par la télégraphie sans fil. Ce n'est que l'expérience qui peut nous renseigner, mais l'expérience est concluante, et je vais la répéter sous vos yeux.

» Voici différents tubes de verre, de 0^m,015 de diamètre intérieur environ, fermés par des bouchons de caoutchouc et munis, en guise d'électrodes, de minces fils de cuivre. De ces deux tubes, assez courts (0^m,20 de long), l'un renferme de l'eau pure, l'autre de la terre humide. Ces autres, très longs (1^m,20), renferment respectivement de l'eau et des solutions salées titrant 5 et 20 pour 100. Or, en intercalant successivement ces tubes en circuit avec un ampèremètre thermique sur la totalité de la self-induction de ce montage à haute fréquence (étincelles de 0^m,01 de long), vous verrez que, tandis que les tubes à eau ne laissent passer aucun courant mesurable, le tube rempli de terre humide se laisse déjà traverser par un courant fort appréciable (100 milliampères). Quant aux tubes à eau salée, malgré leur bien plus grande longueur, soumis à la différence de potentiel

correspondant à $\frac{1}{3}$ du solénoïde seulement, ils sont traversés par des courants plus intenses encore et d'autant plus intenses que la concentration est plus grande (soit 120 milliampères pour le tube à 5 pour 100 et plus de 500 à 20 pour 100). Ainsi, résultat capital, la terre est notablement conductrice et l'eau de mer beaucoup plus. Le seul aspect des étincelles indique d'ailleurs tout de suite ces différences de conductibilité, et si j'ai employé un ampèremètre thermique, c'est pour faire remarquer en passant combien cet appareil se prête aisément à la mesure des courants de haute fréquence et combien les expérimentateurs de la télégraphie sans fil pourraient en tirer de services en maintes circonstances.

» Une expérience de même ordre, mais plus frappante, mettra bien en évidence, en même temps que ces différences de conductibilité, la facilité avec laquelle intervient la capacité dans tous ces phénomènes.

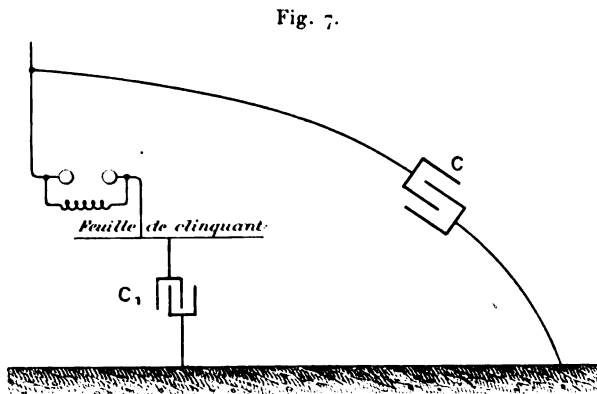
» Remplaçons par de l'eau pure la moitié de la dissolution salée, en évitant d'agiter, de manière que la différence des densités s'oppose au mélange rapide des deux liquides. Relions l'électrode libre au second pôle de la haute fréquence : rien d'appréciable parce que la couche d'eau pure empêche le courant de passer. Promenons alors notre électrode le long du tube de verre. Tant que nous ne sommes pas arrivés à peu près au niveau de l'eau salée, rien qu'une légère effluve. Mais brusquement arrivés en ce point, une gerbe d'étincelles brillantes jaillit et enveloppe le tube; arrivant en face de la partie conductrice du liquide, le courant de haute fréquence, séparé par cette barrière de verre qui pourrait vous sembler infranchissable, se fait un jeu, grâce à l'énorme fréquence, de la franchir sous la forme d'un courant de capacité et continue ensuite son chemin à travers le liquide, dont la parfaite conductibilité est mise ainsi en évidence.

» Comment s'étonner, après cela, que la mise à la terre soit un élément essentiel de la télégraphie sans fil? et comment ne pas trouver tout naturels, du fait de la bien meilleure conductibilité de l'eau salée, les bien meilleurs résultats obtenus en mer?

» Pourtant, M. le Capitaine Ferrié nous dit : « J'ai pu réaliser » d'excellentes communications en ne faisant aucune prise de terre

» ni au transmetteur, ni au récepteur. Donc la terre n'intervient
» pas par sa conductibilité. »

» L'argument semble sans réplique. M. Ferrié me permettra cependant de ne pas m'en contenter. Si M. Ferrié n'a pas de prise de terre à la transmission, il la remplace par une immense feuille de clinquant. Or, celle-ci présente par rapport à la terre (*fig. 7*) une



La feuille de clinquant employée au poste transmetteur agit comme une mise à la terre, en raison de sa capacité.

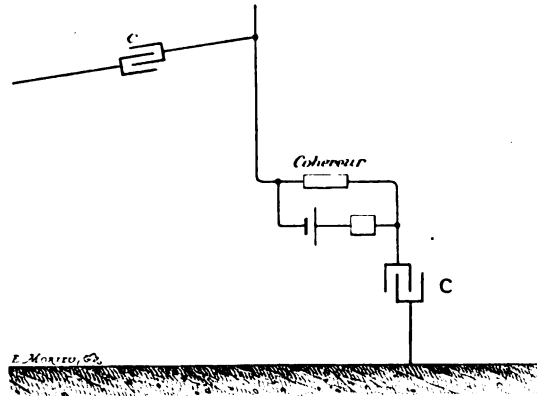
capacité C_1 très grande devant celle de l'antenne, et qui agit en conséquence, à l'égard de celle-ci, comme un véritable court-circuit, comme une liaison assez bonne avec le sol.

» Pour le récepteur fonctionnant sans liaison entre le cohéreur et la terre, même explication : la borne extrême du cohéreur n'est pas isolée dans l'espace, elle est reliée au circuit de la pile et du relais, et ce circuit présente par rapport au sol une certaine capacité (*fig. 8*). Bien peu de chose, me dira-t-on : Voici un bout de fil isolé : je l'approche, à l'aide d'un manche isolant, du point à haut potentiel du solénoïde à haute fréquence, à la terre par son autre extrémité ; voyez ce flot d'étincelles : il correspond au courant de capacité de notre bout de fil, véhiculé à travers l'air. Vous n'eussiez cependant pas cru commettre un grand crime en négligeant cette capacité ! Eh bien ! pas plus que celle-là, nous n'avons le droit de déclarer négligeable la capacité du circuit du relais. Bien mieux : cette capacité est relativement très grande devant la capacité inap-

préciable entre les deux antennes et agit ici encore comme un vrai court-circuit, comme une liaison directe avec la terre ⁽¹⁾.

» Pour la réception des dépêches en ballon libre, qu'on serait tenté, à bien plus forte raison encore, d'invoquer comme une démonstration

Fig. 8.



Au poste récepteur, la capacité du circuit du relais agit comme un court-circuit.

décisive de la non-intervention de la conductibilité de la terre, même raisonnement : la capacité de l'antenne réceptrice par rapport au sol, et même du circuit du relais, se comporte encore comme un court-circuit, comme une liaison directe à l'égard de la minuscule capacité relative des deux antennes. En résumé, les arguments de cet ordre invoqués contre le rôle de la conductibilité du sol semblent donc de peu de valeur, et les résultats obtenus en mer paraissent, au contraire, un argument probant en faveur de ce rôle.

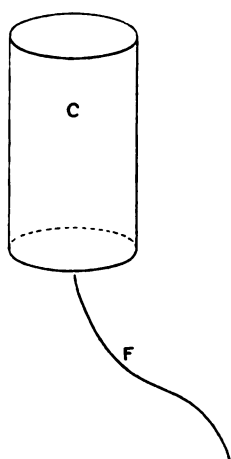
» Je voudrais maintenant passer à une autre observation qui résulte des considérations précédentes et qui me conduira à un dernier point, celui de l'atténuation possible de l'amortissement des oscillations.

» Parlant du diamètre du fil constituant l'antenne, M. Ferrié

(1) Peut-être pourrait-on reprendre de façon analogue l'objection faite par M. Poincaré (*Annuaire du Bureau des Longitudes pour 1902*) contre le rôle de la conductibilité de la terre, à savoir qu'un cohéreur *enterré* ne fonctionne pas : le courant reçu par l'antenne s'écoulerait de préférence par le chemin le plus facile, celui offert par la capacité du fil enterré rejoignant le cohéreur et par celle du circuit du relais, plutôt que de franchir la résistance considérable du cohéreur non excité.

estime, d'après ses essais, que, jusqu'à 4^m ou 5^m ce diamètre est à peu près indifférent. Mais, au delà il y aurait un avantage fort net, à telles enseignes que M. Marconi a pu, avec des tuyaux de 1^m,50 de diamètre et de 10^m de haut, obtenir des portées qui eussent autrement nécessité des antennes de 30^m à 40^m. Si le rôle de la capacité est bien celui que j'ai essayé de définir, l'augmentation du diamètre de l'antenne, surtout à la partie supérieure, doit être très favorable, car elle doit avoir pour effet d'augmenter la capacité : mais néan-

Fig. 9.



M. Marconi doit atténuer l'amélioration due au cylindre C par l'emploi du fil de petit diamètre F.

moins, pour que l'effet favorable se fasse sentir, encore faut-il qu'on se place dans des conditions qui ne l'annihilent pas. Or, M. Ferrié, je crois, opère à terre; la conductibilité du sol, nous le savons, est fort médiocre; la résistance ohmique du circuit doit y être localisée en grande partie (1); peu importe alors qu'il améliore le reste du circuit : et c'est pour cela que le diamètre de l'antenne lui semble indifférent. M. Marconi, lui, opère en mer. La conductibilité y est parfaite. Toute la résistance, ohmique et apparente, est localisée dans l'antenne et dans le champ électrique; il doit donc améliorer

(1) Il faut remarquer, en effet, que la conductibilité du sol et même de l'eau de mer est bien inférieure pour le courant de haute fréquence à ce qu'elle est pour le courant continu, de sorte qu'il doit être bien plus difficile de réaliser une bonne terre transmettrice pour la télégraphie sans fil que pour la télégraphie ordinaire.

beaucoup les résultats en augmentant le diamètre, et c'est effectivement ce qu'il observe.

» D'ailleurs, dans ce dernier cas, on a un autre intérêt que l'augmentation de la capacité à augmenter le diamètre, et à prendre des conducteurs creux. Car on diminue ainsi énormément la résistance aux courants de haute fréquence, qui se propagent seulement, on le sait, dans les couches superficielles des conducteurs. On diminue donc ainsi, dans une mesure peut-être très considérable, le facteur d'amortissement $e^{-\frac{rR}{2L}}$ et ceci peut avoir une importance capitale, sinon peut-être dans le cas de transmission simple, mais dans ceux où l'on veut faire de la syntonie et où les phénomènes de résonance, nécessitant un faible amortissement, doivent être utilisés. A cet égard, il est probable que M. Marconi doit atténuer l'amélioration en reliant ses cylindres à la mer par des fils de petit diamètre F. Peut-être trouvera-t-on intérêt un jour, pour diminuer cet amortissement, à faire plonger jusque dans la mer les énormes cylindres de Marconi, et même à les remplacer par d'immenses feuilles de métal roulées en spirale.

» Je n'ai plus qu'un mot à ajouter pour terminer cette trop longue dissertation. On a émis différentes hypothèses fort ingénieuses pour expliquer le fonctionnement des cohérences. La plus en faveur semble être celle-là même qui a valu à ces appareils leur nom de baptême, celle d'une suite de soudures entre les grains de limaille au moment du passage de l'étincelle, soudures fragiles que la moindre secousse fait ensuite disparaître. Une confirmation de cette hypothèse est fournie par le fait que, si la limaille est constituée avec une substance infusible comme le charbon, avec un métal peu fusible comme le platine, ou oxydé légèrement, la conductibilité ne persiste que pendant le passage du flux, car la soudure ne peut alors se produire (cohérences autodécohérents).

» L'expérience suivante semble apporter à cette hypothèse de la soudure une confirmation expérimentale remarquable, en fournissant la preuve palpable des facultés soudantes de ces courants de haute fréquence, qui la doivent, peut-être, à leur mode de propagation, susceptible sans doute de concentrer, à la *peau* des masses conductrices, l'effet calorifique.

» Voici un petit anneau en fil d'acier mince, dont les extrémités

en regard, par le jeu de l'élasticité, sont maintenues à 3^{mm} ou 4^{mm} de distance. En plaçant cet anneau dans le prolongement du solénoïde de haute fréquence, et amenant au contact les deux extrémités, une étincelle minuscule jaillit, et la soudure est faite : soudure très fragile, d'ailleurs, qu'une légère chiquenaude suffira à détruire, exactement comme dans le cas des cohérences ordinaires.

» Voici terminé, Messieurs, tout ce que j'avais à vous dire. Je vous prie de ne pas oublier le but modeste que je me suis proposé en apportant ici ces quelques considérations, et d'être indulgents si je me suis trompé, sinon sur quelques points, car de ceci je suis bien sûr d'avance, mais même sur toute la ligne. »

M. G. FERRIÉ. — « Messieurs, les diverses explications de la télégraphie sans fil que j'ai sommairement exposées le mois dernier ne s'appuient pas sur des théories créées pour les besoins de la cause, comme le dit M. Claude. Chacune d'elles s'appuie sur un ou plusieurs ordres de faits déjà bien connus auparavant, auxquels elle a emprunté sa terminologie. Seul, le mot d'*antenne* n'est pas très scientifique, mais il rend bien l'idée de l'usage auquel le conducteur vertical est destiné, à la réception surtout.

» L'une de ces explications, donnée par Andersen en 1898 (*Electrotechnischer Anzeiger*), a été reprise par M. Claude. Elle est basée sur les effets de capacité électrostatique entre les antennes. La principale objection que l'on peut faire à cette théorie est, comme le rappelle M. Claude, que l'énergie des actions devrait varier en raison inverse du cube des distances; les communications ne pourraient alors être établies qu'entre des stations très rapprochées. Pour tourner la difficulté, on nous propose d'admettre que l'énergie rayonnée par l'antenne, intégralement transmise par l'éther sous forme de courants de capacité, ne fait que s'étaler à la surface du sol, et que ce n'est alors que l'inverse du carré des distances qui entrerait en jeu. Cette idée aurait, semble-t-il, besoin d'être développée davantage; j'avoue ne pas bien comprendre.

» En ce qui concerne l'influence des formes du champ électrique et de la courbure des lignes de force, les hypothèses faites paraissent assez gratuites, et en particulier il est difficile d'admettre que ces lignes de force puissent passer au-dessus d'obstacles conducteurs

d'une hauteur de 500^m à 600^m au-dessus du sommet des antennes. Cette situation était celle des stations de Biot et Calvi : la ligne joignant le sommet des antennes passait à environ 600^m au-dessous du niveau de la mer. De plus, que devient, dans ce cas, la capacité des antennes l'une par rapport à l'autre?

» D'autre part, d'après ces hypothèses, le gain réalisé sur les portées ne croîtrait que proportionnellement aux hauteurs et non à leurs carrés. C'est pourtant cette dernière loi que nous avons vérifiée d'une manière assez nette, après MM. Marconi et Gavey, dans des expériences très soigneusement faites dans les environs de Paris. Et même si cette loi n'est pas exacte, la véritable fonction des hauteurs d'antenne qu'il faudrait admettre serait comprise entre le carré et le cube.

» M. Claude admet également que la capacité des antennes croît proportionnellement à leur hauteur et à leur diamètre. Sans vouloir entrer dans la discussion théorique du raisonnement, nous remarquerons seulement que cette assertion est en contradiction avec les mesures très soigneusement faites par M. Tissot, qui a trouvé que la capacité croissait très lentement avec les dimensions des antennes.

» Quant à l'existence d'ondes stationnaires dans les antennes, elle ne paraît pas pouvoir être mise en doute ; on a basé sur elle plusieurs systèmes efficaces de syntonisation. Il est probable que la self-induction et la capacité propre de l'antenne ont pour effet d'augmenter encore, comme dans un résonateur Oudin, le potentiel de l'extrémité, mais la réflexion des ondes en ce point joue certainement le rôle prépondérant ; les portées sont, en effet, très notablement augmentées quand la longueur de l'antenne représente environ un quart d'onde. Dans le cas du montage à étincelle directe, le fait est moins net par suite de la présence de l'étincelle dans le circuit actif, et de l'amortissement considérable. A ce sujet, M. Claude pense que le sens des connexions de la pile du cohéreur a une influence, suivant la polarité donnée à l'antenne de transmission : nous avons maintes fois constaté qu'il n'en était rien.

» L'expérience faite au moyen du dispositif de haute fréquence de M. Gaiffe, et qui a consisté à démontrer que la tension allait en croissant d'une spire à l'autre du résonateur, jusqu'à l'extrémité, ne démontre rien. Il résulte en effet d'expériences analogues très com-

plètes, et de la théorie de M. Seibt, que l'on pouvait parfaitement constater l'existence de plusieurs concamérations dans un pareil montage, et que, par suite, le fait d'avoir une tension croissante d'une extrémité à l'autre du résonateur prouve seulement que la longueur totale des spires est inférieure ou égale à un quart d'onde.

» M. Claude a ensuite utilisé le même dispositif de haute fréquence, pour démontrer la conductibilité de l'eau salée et de la terre mouillée pour ces courants. Ces expériences, très concluantes, ne paraissaient pas nécessaires, attendu que cette conductibilité n'avait jamais été mise en doute par personne. Ce qui demeure très improbable, c'est que cette conductibilité soit utilisée dans la télégraphie sans fil; nous y reviendrons tout à l'heure. Cette démonstration a été faite au moyen de milliampèremètres thermiques, et M. Claude préconise l'emploi de ces instruments dans les études relatives à la télégraphie sans fil. De nombreux expérimentateurs se sont déjà servis, non pas du milliampèremètre thermique, qui a une sensibilité insuffisante, mais d'indicateurs analogues d'intensité. M. Tietz s'est servi des bolomètres de Rubens; M. Lindemann a fait une étude très complète des phénomènes en question au moyen du couple constantan-fer, etc. Mais ces instruments présentent le défaut d'être des indicateurs d'intensité, alors que le cohéreur ordinaire, qui est pratiquement employé dans l'utilisation de la télégraphie sans fil, est un indicateur de tension. Les renseignements fournis par les uns ne sont plus applicables à l'autre. Cependant, dans les dispositifs Marconi, où l'on utilise l'existence d'un ventre d'intensité au bas de l'antenne pour y placer un transformateur, qui donnera par suite un maximum d'induction et un maximum d'effet sur le cohéreur, si les circuits sont convenablement calculés, les renseignements donnés par indicateurs thermiques pourront être précieux.

» Examinons maintenant les objections faites au sujet du rôle que nous avons cru pouvoir attribuer à la terre. La remarque faite au sujet de l'utilisation possible, dans notre dispositif à feuilles de clinquant verticales, de la conductibilité du sol, paraît fondée. Aussi avons-nous cru nécessaire de la compléter par des essais de réception en ballon libre, et annoncé que nous nous proposons de faire également de la transmission en ballon libre. Le succès déjà obtenu pour la réception en ballon libre paraît démontrer la non-utilisation

de la conductibilité du sol; que devient en effet la capacité de l'antenne située à 1000^m de hauteur, par rapport à une autre antenne située à 25^{km}, et par rapport au sol, surtout que dans ce cas on est bien obligé d'admettre la variation des effets en raison inverse du cube des distances?

» Enfin, si l'on utilisait réellement la conductibilité du sol, on devrait pouvoir déceler le passage du courant à la surface. Nous avons fait de nombreuses tentatives dans ce but, en nous plaçant dans les meilleures conditions possibles. Jamais, sauf à des distances très réduites où l'action sur le récepteur pouvait provenir de l'antenne elle-même, nous n'avons enregistré le moindre signal, quel que soit le dispositif employé.

» En résumé, la théorie discutée par M. Claude nous paraît insuffisante pour rendre compte des faits observés. Elle est d'ailleurs dans le même cas que toutes les autres, c'est-à-dire en bonne compagnie. Il paraît sage d'admettre, avec M. Blondel, que l'on utilise plusieurs effets dus à plusieurs causes, dont l'une ou l'autre domine, suivant le cas, mais que les facteurs les plus importants paraissent être le rayonnement et l'amortissement des oscillations transmises directement par l'éther, et accompagnés parfois de phénomènes accessoires de diffraction et de réflexion, suivant les propriétés démontrées par M. Righi. »

M. G. CLAUDE. — « Si j'étais désireux de provoquer quelques éclaircissements sur les théories de la télégraphie sans fil, il me faut reconnaître de bonne grâce que M. Ferrié m'a fait la mesure large. Cependant, si bon nombre de mes observations tombent devant les résultats d'expérience que m'a opposés M. Ferrié, je dois faire des réserves sur un certain nombre de points :

» 1^o M. Ferrié, réitérant l'objection de la loi du cube de la distance, se borne à dire qu'il ne comprend pas celle du carré : celle-ci n'est que la réédition de la loi d'après laquelle, si l'on considère le flux lumineux émis par une source, la fraction de ce flux reçue par une surface normale donnée varie en raison inverse du carré de la distance : ici, le flux lumineux, c'est le flux électrique émis par l'antenne transmettrice, et la surface réceptrice n'est autre que l'antenne réceptrice.

» 2° M. Ferrié reconnaît que la longueur du fil de la self-induction d'un circuit oscillant n'est pas forcément égale à un quart d'onde : c'est, à cet égard, tout ce que je souhaitais. Que la portée soit la meilleure lorsqu'il en est ainsi, c'est un fait très intéressant, mais provoqué par un certain réglage préalable et non plus spontané.

» 3° Mes conclusions en ce qui concerne la transmission et la réception sans prises de terre me paraissent subsister en grande partie, ainsi, dans une certaine mesure, que la différence des résultats obtenus par MM. Ferrié et Marconi avec des antennes de diamètres variables.

» 4° L'objection de fait opposée à la conductibilité de la terre me paraît peu probante : la diffusion des courants dans la masse terrestre doit être si grande, le cas échéant, que j'aurais été moi-même parfaitement surpris si M. Ferrié avait pu enregistrer des signaux de cette façon.

» Malgré toutes ces réserves, je n'hésite pas à reconnaître que les arguments de M. Ferrié ont ébranlé ma conviction dans une forte mesure, et il me permettra de l'en remercier. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Claude des intéressantes considérations qu'il vient de développer, et M. le Capitaine Ferrié de sa réponse, qui complète très heureusement sa précédente Communication.

DISCUSSION SUR LES CANALISATIONS ÉLECTRIQUES.

M. GROSSELIN. — « M. Sartiaux, président de la quatrième Commission, a lu, dans la dernière séance, le résumé des réponses reçues au questionnaire envoyé par lui sur les conditions techniques de réception des câbles électriques.

» Il a fait ressortir que, sur presque tous les points, les réponses étaient très divergentes.

» Cette divergence se retrouve dans les cahiers des charges, qui imposent, surtout en fait d'isolement kilométrique, des chiffres très variables d'une Compagnie à l'autre, pour des câbles devant fonctionner dans des conditions identiques. Ceci donne à penser que certains cahiers sont inutilement sévères. Or, il est nécessaire d'éliminer d'un cahier des charges toute garantie inutile qui, d'une manière générale, se traduit par une augmentation du prix de revient, et, par suite, du prix de vente. Pour les câbles, notamment, la garantie d'un chiffre trop élevé d'isolement peut amener le constructeur à donner à l'isolant une épaisseur plus grande que nécessaire, d'où accroissement inutile du poids et du prix de l'enveloppe extérieure de plomb.

» Il est donc de l'intérêt même des acheteurs de câbles, d'arriver à unifier les clauses des cahiers des charges, de manière à n'y laisser subsister que les garanties à la fois nécessaires et suffisantes pour assurer, au réseau, un fonctionnement sûr et durable.

» C'est à ce point de vue que je désirerais vous présenter quelques observations relatives aux diverses conditions techniques sur lesquelles a porté l'enquête.

» Il est bien entendu qu'il s'agit seulement ici des câbles souterrains pour transport d'énergie électrique, c'est-à-dire des câbles à isolement de cellulose imprégnée et enveloppée de plomb, à l'exclusion des câbles en caoutchouc, dont l'emploi est à peu près abandonné pour les canalisations souterraines.

» Pour justifier ces observations, je rappellerai en deux mots les principes de fabrication des câbles sous cellulose.

» L'isolant est enroulé autour du conducteur sous forme de rubans

de papier ou de spirales de chanvre. Pour acquérir les propriétés voulues, cet isolant doit être débarrassé de l'eau de constitution et de l'air qu'il contient.

» La présence de l'air, même sec, dans les interstices de l'isolant, ne permettrait pas d'obtenir une résistance suffisante à la rupture.

» On dessèche donc le câble à l'étuve, puis on le met en cuve pour imprégner l'isolant d'un mélange hydrocarburé. Ce mélange varie de composition suivant chaque système de câbles, mais, d'une façon générale, il renferme une double base : d'une part, une huile offrant une grande résistance à la rupture diélectrique, avec une résistance ohmique relativement basse, et trop de fluidité pour être employée seule; d'autre part, une résine ou un bitume qui corrige l'excès de fluidité et remonte la résistance ohmique, mais abaisse la résistance à la rupture.

» Pour une composition de mélange donnée, on augmentera la résistance à la rupture en augmentant l'épaisseur du diélectrique, c'est-à-dire le nombre de couches de papier ou de jute enroulées autour du conducteur. Par là même on augmentera, dans une certaine mesure, la résistance ohmique, c'est-à-dire l'isolement kilométrique du câble.

» Pour protéger l'isolant ainsi constitué, on le recouvre d'une ou de deux couches de plomb, qui doivent présenter une étanchéité parfaite.

» Afin de pouvoir placer les câbles en terre sans ménager de caniveau, on enroule, autour du plomb, une armature de rubans d'acier et plusieurs couches de jute très fortement goudronné, ce qui protège l'enveloppe contre les chocs extérieurs et contre l'oxydation.

» Étant donnée cette constitution de câbles, quels essais et garanties sera-t-il nécessaire d'imposer pour leur réception?

» 1. *Essai d'isolement kilométrique à l'usine.* — Pour se rendre compte de la valeur réelle d'un câble, on devrait l'essayer dans les conditions mêmes où il doit fonctionner, soit sous une force électromotrice efficace égale à celle du courant à transporter, et constater, dans ces conditions, la perte à travers le diélectrique.

» En fait, faute d'appareils permettant de mesurer les très faibles intensités à haute tension, on soumet le câble à un essai de rupture du diélectrique, dans des conditions sur lesquelles nous reviendrons, et sans observer le courant de perte.

» Mais, auparavant, pour ne pas exposer inutilement les appareils à un court-circuit, le constructeur procède à l'essai d'isolement kilométrique à quelques centaines de volts seulement, au moyen de galvanomètres sensibles.

» Cet essai indiquera les contacts des conducteurs entre eux ou avec l'armature; il révélera, en outre, l'insuffisance de la dessiccation ou l'excès de température atteint lors de l'imprégnation; l'humidité dans le premier cas, les matières carbonisées dans le second, faisant tomber l'isolement à un chiffre que l'expérience personnelle du constructeur lui fera seule connaître comme insuffisant.

» Mais cet essai sera impuissant à indiquer une imprégnation imparfaite et l'existence de fissures ou de déchirures dans l'isolant, car l'air remplissant les interstices ou ces fissures a été desséché et maintient un chiffre d'isolement très élevé.

» L'essai de rupture demeure donc nécessaire, et il sera suffisant, car, lorsque la tension s'élèvera, les lacunes de l'isolant seront traversées par des effluves d'abord, puis par la décharge.

» Telle est la raison pour laquelle la plupart des réponses à l'enquête reconnaissent l'inutilité de l'essai d'isolement.

» Toutefois, puisque le constructeur procède toujours à cet essai, il est intéressant pour l'acheteur de relever contradictoirement le chiffre trouvé, qu'il pourra utilement comparer avec celui trouvé après pose.

» Je voudrais seulement faire observer qu'il n'est pas sans inconvénient, au lieu de laisser le constructeur fixer librement l'isolement minimum que le câble devra présenter, d'imposer ce chiffre dans le cahier des charges.

» Il est facile de se rendre compte que les preneurs de câbles, dans le désir d'augmenter la sécurité de leurs installations, et en présence des surenchères des constructeurs, ont tendance à élever de plus en plus les chiffres de garantie.

» Il y a dix ans, par exemple, on demandait 10 mégohms kilométriques pour des câbles devant fonctionner à 4000 volts. On en

demande maintenant de 5000 à 6000 dans les mêmes conditions, alors que les anciens câbles n'ont rien laissé à désirer.

» Or, cette tendance peut devenir fâcheuse pour les preneurs, car elle fait obstacle à l'abaissement des prix.

» En raison de l'indépendance qui existe entre la résistivité d'un diélectrique et sa résistance à la rupture, on pourra trouver, quelque jour, un isolant nouveau résistant à une tension donnée sous une épaisseur moindre que les isolants actuels, sans avoir une résistivité plus grande. Cet isolant permettrait de réduire le diamètre, et par suite le prix des câbles, mais entraînerait un abaissement de leur isolement kilométrique.

» Un résultat identique peut être atteint en modifiant la disposition des brins des conducteurs à l'intérieur des câbles, de manière à diminuer la densité de charge statique à leur surface pour une différence de potentiel donnée. Là encore, il peut y avoir abaissement d'isolement, corrélatif à l'accroissement de résistance disruptive, et à l'abaissement des prix.

» Pour conclure, il semble donc que le résultat de l'essai d'isolement à l'usine doit être considéré comme un renseignement utile, mais qu'il n'y a pas lieu de stipuler sa valeur minima, l'essai de rupture étant à la fois nécessaire et suffisant pour attester la bonne qualité du câble.

» II. *Essai d'isolement kilométrique après pose.* — L'essai d'isolement après pose permet de s'assurer que, au cours de cette opération, l'enveloppe du câble n'a pas été déchirée, et que, d'autre part, les boîtes de raccord ou autres ont été hermétiquement fermées. Il sera d'autant plus concluant s'il est effectué quelques semaines après la fin des travaux, de manière que l'eau et l'humidité aient eu le temps de pénétrer par toutes les voies qui leur ont été ouvertes. On devrait, autant que possible, y procéder un mois seulement après la pose.

» Cet essai est d'ailleurs nécessaire, car il est rare qu'une pose importante puisse être effectuée sans quelque accident ou quelque malfaçon, et si l'on mettait le réseau en tension sans s'être assuré au préalable de son état par l'essai d'isolement, il y aurait de nombreuses chances pour qu'un court-circuit se produisît, accom-

pagné de résonances pouvant déterminer un nouveau défaut en un point sain du câble.

» Le chiffre donné par cet essai sera toujours inférieur à celui trouvé à l'usine, car, même en l'absence de tout défaut, l'humidité et les poussières qui se déposent sur les boîtes d'extrémité ou de coupure où les câbles viennent au contact de l'atmosphère suffisent à faire baisser l'isolement dans une proportion d'autant plus forte que ces boîtes sont plus nombreuses.

» Il s'agit de déterminer le chiffre correspondant à l'existence d'un défaut réel. Or, étant donnée la cause de cette baisse de l'isolement, cette détermination *a priori* est très difficile et devrait varier d'un réseau à l'autre.

» On pourrait, je crois, faire une distinction utile entre les feeders et les câbles de distribution.

» Les feeders, définis comme étant une portion de câble limitée par deux boîtes de distribution, ou par une boîte de distribution et la boîte de départ de l'usine, sans insertion d'aucun branchement, devraient présenter un isolement kilométrique de 500 mégohms pour les tensions inférieures à 1000 volts et de 1000 mégohms pour les tensions supérieures.

» On pourrait encore, avec plus de logique, rapprocher de l'isolement à l'usine celui constaté après pose, et stipuler que, pour les feeders, le second sera au moins le dixième du premier.

» Je ferai remarquer que, les câbles actuels à haute tension donnant presque toujours 40000 à 50000 mégohms à l'usine, on imposerait encore ainsi 5000 mégohms après pose, chiffre beaucoup plus que suffisant pour assurer un bon fonctionnement.

» Pour les câbles de distribution, on pourrait faire dépendre l'isolement kilométrique du nombre de branchements établis, en stipulant, pour chacun de ceux-ci, un isolement de 10 Ω à 100 Ω , suivant sa nature.

» Le point important est que l'isolement ne continue pas à descendre au cours de l'exploitation.

» Or l'expérience a prouvé qu'il se maintenait à peu près invariable, dans les câbles sous cellulose, tant que l'étanchéité de l'enveloppe et des boîtes restait assurée. Cette étanchéité dépend étroitement de la façon dont l'enveloppe est protégée contre l'oxydation ;

mais si, au bout d'un an, aucun défaut ne s'est produit, on peut être rassuré sur la durée du câble.

» Il y aurait lieu, par suite, d'imposer un nouvel essai d'isolement un an après le premier; cet essai devrait donner le chiffre primitif pour les feeders, définis comme ci-dessus, et un chiffre inférieur de 5 à 10 pour 100 seulement, suivant les cas, pour les câbles de distribution.

» III. *Essai de rupture.* — Nous avons vu que l'essai de rupture était nécessaire pour déceler les lacunes de l'isolant. Ces lacunes augmentent de façon certaine lors du déroulage et du tirage du câble dans la tranchée. L'essai doit donc être fait à une tension plus élevée que la force électromotrice efficace sous laquelle fonctionnera le câble.

» La Commission indique avec raison qu'un coefficient de sécurité de 100 pour 100 doit être adopté, en d'autres termes que l'on devra doubler, pour l'essai, la force électromotrice efficace. L'expérience a montré que les réseaux dont les câbles avaient été essayés dans ces conditions donnaient pleine satisfaction, tandis que ceux pour lesquels un coefficient de sécurité de 50 pour 100 seulement avait été adopté ont parfois donné des déboires.

» Ceci n'est, à vrai dire, tout à fait exact que pour les réseaux à courant continu; dans les réseaux à courant alternatif, il se produit quelquefois des ruptures de diélectrique en des points où le câble, essayé à 100 pour 100, paraît parfaitement sain.

» Les travaux de Leblanc, Steinmetz, Kapp, Kennelly ont éclairé la question. Ces auteurs ont étudié les ondes complexes qui se produisent dans le système constitué par la capacité du câble, son impédance et la réactance des transformateurs. Ils ont cherché à chiffrer les élévations de potentiel produites par les ondes, les unes ayant la période fondamentale de l'alternateur, les autres provenant de certaines harmoniques renforcées; d'autres enfin, produites avec la période propre du système par un choc électrique, suppression d'arc de court-circuit ou variation brusque de charge.

» Les chiffres trouvés dans certains cas égalent dix ou quinze fois la force électromotrice appliquée.

» Or, jusqu'ici, l'expérience des réseaux souterrains ne porte que sur des forces électromotrices de 5000 volts au plus.

» Il est permis de se demander si l'innocuité ou la rareté relatives des effets de résonance, observées jusqu'à 5000 volts, se retrouveront pour les tensions supérieures.

» La question est d'autant plus intéressante qu'il est assez tentant de remplacer les lignes aériennes, sujettes à de nombreux accidents, par des lignes souterraines, pour les transmissions, à très longue distance et à très haut voltage, de l'énergie destinée à l'alimentation de villes importantes.

» Mais, si l'on admet les chiffres de surélévation de tension donnés plus haut, on voit que, pour avoir une sécurité absolue, on devrait essayer à plus de 200000 volts les câbles devant fonctionner à 20000 volts.

» Au point de vue technique, ce ne serait peut-être pas impossible. En 1900, plusieurs maisons ont exposé et essayé des câbles à 25000 et 30000 volts.

» En ce moment, on fait un essai de câbles devant fonctionner à 60000 volts et que l'on soumettra à 120000 volts.

» Mais de telles tensions nécessitent un isolant très épais, ce qui amène à donner au poids de l'armature de plomb une valeur telle que le prix du câble devient inabordable.

» Si l'expérience montre que l'exploitation d'une ligne souterraine à 20000 volts est possible, et c'est notamment l'avis de Kennelly, les raisons financières nécessitent donc que l'on continue à s'en tenir encore, pour ces tensions, à un coefficient de sécurité de 100 pour 100, lequel permet de compter sur un bon fonctionnement du câble à la force électromotrice efficace.

» Mais il me paraîtrait équitable d'introduire, dès maintenant, dans les cahiers des charges, une clause basée sur les travaux que je rappelais tout à l'heure et d'après laquelle un câble, essayé à 100 pour 100 à l'usine, et à 25 pour 100, par exemple, après pose, sera définitivement reçu, et qu'au cas où il viendrait à rompre, en cours d'exploitation, en un point ne présentant aucun défaut de fabrication ou de pose, cette rupture devra être attribuée à un effet de résonance.

» Pratiquement, si cette clause est adoptée, les frais de réparation d'une telle rupture incomberont au preneur du câble, à moins qu'il ne puisse prouver une faute du constructeur.

» IV. *Capacité et impédance.* — Je terminerai en faisant remarquer que la capacité et l'impédance résultent presque nécessairement des données imposées pour la construction du câble; si l'on craint les effets de résonance sur les harmoniques, ces deux valeurs, autant qu'elles peuvent être connues, devraient donc être communiquées au constructeur de l'alternateur, lequel peut arriver à supprimer ou à restreindre les harmoniques dangereuses. »

M. GAY. — « Je désire ajouter quelques mots à la Communication que vous venez d'entendre. Je serai bref, car, sur beaucoup de points, je suis d'accord avec M. Grosselin.

» Permettez-moi de lire les conclusions du compte rendu de votre quatrième Section. Au fur et à mesure, je vous ferai part des observations que je croirai utile de vous présenter.

» *Les considérations d'ordre mécanique*, est-il dit dans ces conclusions, *ainsi que la composition des divers éléments d'un câble: nombre et nature des fils composant le ou les conducteurs, épaisseur et spécification des matières isolantes à employer, nature et dimensions des armatures, varient avec chaque cas particulier et suivant les conditions de fonctionnement et d'installation.*

» *Tous les points ci-dessus sont à régler d'accord avec le constructeur.*

» Jusqu'ici, rien à dire. Je poursuis.

» *Au point de vue électrique, les câbles doivent satisfaire à certaines conditions résumées ci-après :*

» *Les câbles étant divisés en trois catégories principales, suivant la tension de fonctionnement, doivent avoir un isolement kilométrique minimum de :*

» 700 mégohms	jusqu'à	1000 volts,
» 3000	»	4000 »
» 6000	»	10000 »

» Sur ce point, je ne suis pas d'accord avec votre quatrième Section. Je vais vous dire pourquoi.

» D'abord, une observation préliminaire. Il ne s'agit évidemment dans cette discussion que des câbles souterrains pour lumière ou transport d'énergie. Tous nos raisonnements ne s'appliquent qu'à eux.

» Quand vous achetez un câble, que lui demandez-vous? Deux

choses : 1° de résister aux efforts qu'il aura à supporter en service, efforts dus à la différence de potentiel qui sera appliquée entre ses conducteurs ou entre chacun de ses conducteurs et la terre ; 2° de résister le plus longtemps possible à ces efforts, c'est-à-dire d'avoir de la durée.

» En général, il y a un rapport direct, une analogie immédiate entre les essais de réception imposée à une matière et le but qu'aura à remplir cette matière. Par exemple, vous avez à faire supporter une certaine charge à un fil de fer, vous essayez ce fil de fer à la traction. C'est logique. Ici, rien de semblable. L'essai d'isolement ne se justifie pas *a priori* et par un simple raisonnement. Cependant, il se trouverait en quelque sorte légitimé si l'expérience avait démontré qu'un câble qui donne beaucoup de mégohms est en même temps un câble capable de faire un bon service et de le faire longtemps. L'expérience a-t-elle démontré cela ? Non. Elle a même quelquefois démontré tout le contraire.

» Ouvrez les cahiers des charges que l'Administration française des Postes et Télégraphes imposait, il y a quatre ou cinq ans, pour les fournitures d'âmes de câbles sous-marins. Vous y verrez, entre autres clauses, celle-ci : « Après 24 heures d'immersion dans l'eau » à 24°C., le diélectrique devra avoir un isolement kilométrique » compris entre 600 et 2500 mégohms ». Pourquoi cette clause de maximum ? Parce que souvent les guttas à fort isolement sont très résineuses et que les âmes fabriquées avec des guttas trop résineuses ont peu de durée. Le diélectrique devient sec, cassant, se fendille et l'isolement disparaît. Cette règle n'étant pas absolue, l'Administration a été amenée, il y a deux ans, à modifier son cahier des charges. Cela n'enlève aucune valeur à mon argument, puisque je veux seulement prouver qu'un isolant à grande résistance spécifique n'est pas toujours un isolant durable.

» D'un autre côté, ouvrez le formulaire de M. Hospitalier ; vous y verrez que l'air sec a une résistivité théoriquement infinie, et cependant vous savez que l'air sec oppose une résistance relativement faible au passage de l'étincelle électrique. Par conséquent, de deux isolants différents, celui qui donne le plus de mégohms n'est pas toujours celui qu'il faut employer dans les installations à haute tension.

» Doit-on conclure de ce qui précède que l'essai d'isolement ne

se justifiant ni par le raisonnement, ni par l'expérience, il convient de le supprimer? Je ne verrais aucun inconvénient à ne pas aller jusque-là. Il est dit dans le compte rendu de votre quatrième Section, au milieu de la page 3 : « Il ne faut, en effet, considérer les mesures » d'isolement que comme une vérification grossière destinée à ré- » véler un défaut capital de fabrication ou de pose ». Vous trouverez dans cette phrase la justification de l'essai d'isolement et, en même temps, une indication sur la façon dont il est bon de le comprendre. Plus simple, plus rapide que l'essai à haute tension, il trouve tout naturellement sa place à la fin de la fabrication pour fournir la preuve que, durant cette fabrication, l'isolant n'a pas été détérioré. La limite d'isolement imposée sera donc assez élevée pour qu'un câble contenant un défaut franc ne satisfasse pas aux conditions du cahier des charges, mais elle sera, d'autre part, assez basse pour laisser au fabricant de câbles toute la liberté dont il a besoin dans le choix de son isolant. 500 mégohms à 15°C. pour tous les câbles, quelle que soit la tension de service à laquelle ils seront soumis, serait à mon avis un chiffre acceptable. Je vous propose de remplacer le texte du compte rendu par le suivant :

« Les câbles pour réseaux souterrains devront avoir en usine un » isolement minimum de 500 mégohms par kilomètre à 15°C., » quelle que soit la tension de service pour laquelle ils seront » faits. »

» Je continue maintenant ma lecture :

» *Après pose, dit le compte rendu, les résistances d'isolement des câbles, y compris les raccords, doivent être, au minimum, le tiers des valeurs ci-dessus.*

» Je propose de remplacer cette phrase par la suivante :

« Les conditions d'isolement après pose seront déterminées dans » chaque cas particulier. »

» Vous ne pouvez pas, en effet, adopter une règle générale. Un câble qui part de la salle des machines d'une station centrale pour aboutir à la salle des machines d'une sous-station ne doit pas être traité de la même façon qu'un câble qui part d'une boîte de coupure pour aboutir à une autre boîte de coupure. Dans le premier cas, l'atmosphère dans laquelle sont plongées les extrémités du câble est sèche, dans le second cas elle est humide. Or, n'oubliez pas

qu'en faisant un essai d'isolement après pose, vous ne mesurez pas la résistance seule du diélectrique, vous mesurez deux résistances en quantité : la première est celle du diélectrique, la seconde, celle de la mince couche d'humidité qui recouvre toujours les bouts des câbles, et même, cette dernière étant souvent de beaucoup la plus petite, est celle qui a l'influence prépondérante sur la valeur de la résistance résultante. Je n'examinerai pas le cas où le câble porte de nombreux branchements. Au fur et à mesure que ceux-ci augmentent, l'isolement kilométrique que l'on obtient diminue. Il peut dans certains cas extrêmes descendre à quelques milliers d'ohms.

» Je reprends ma lecture :

« En dehors des mesures de résistance kilométrique, dit le compte rendu, il y a lieu de demander au constructeur des essais de résistance à la rupture du diélectrique soit à l'usine, soit après pose.

» Dans le premier cas, on adoptera une tension alternative efficace double de la tension de fonctionnement à l'usine.

» Cette tension sera aussi bien appliquée entre conducteurs qu'entre conducteurs et armatures.

» Pour les essais après pose, on adoptera une tension alternative efficace qui sera la tension de service majorée de 25 pour 100. »

» Parlons d'abord des essais à l'usine. Il faut évidemment faire l'essai à haute tension avec un coefficient de sécurité. Votre Commission, en doublant la tension de service, a adopté le coefficient 2. C'est celui auquel on s'arrête généralement et la pratique semble montrer qu'il est suffisant. Je suis d'avis de le conserver. Mais je ne verrais pas d'inconvénients à ce qu'on ajoute : « sous la réserve que la tension d'essai ne descendra jamais au-dessous de 1000 volts efficaces ».

» Sur le point de savoir s'il convient d'appliquer la même tension d'essai entre conducteurs d'une part, entre les conducteurs et la terre d'autre part, le fabricant de câbles n'a pas d'avis à exprimer. C'est une question de spécification. Il livrera le câble comme on le lui demandera.

» Après pose, je serais d'avis, si c'était possible, qu'on fasse les essais à la même tension qu'à l'usine. J'accepte donc *a fortiori* la

tension proposée par votre IV^e Section. Mais j'ajoute qu'en pratique une telle clause restera généralement lettre morte par l'impossibilité dans laquelle on sera de se procurer les appareils nécessaires, et qu'on sera réduit à faire l'essai à la tension de service avec les machines de l'usine. Si, en poussant ces machines, on peut augmenter légèrement la tension d'essai, qu'on ne manque pas de le faire.

» Je n'ai aucune observation à présenter sur la dernière phrase du compte rendu : *Les indications qui précèdent s'entendent à la fois pour installations à courant continu et alternatif.*

» En résumé, je suis d'avis :

» 1^o Qu'on impose à l'usine un isolement d'au moins 500 mégohms par kilomètre à 15° C. pour tous les câbles et quelle que soit la tension de service à laquelle ils seront soumis ;

» 2^o Qu'on fasse à l'usine un essai à une tension double de la tension de service et en tout cas à une tension d'au moins 1000 volts ;

» 3^o Qu'on n'établisse pas de règle générale en ce qui concerne les essais d'isolement après pose ;

» 4^o Qu'après pose également on fasse un essai à haute tension qui se rapproche autant que cela sera possible de celui de l'usine.

» Agir autrement et imposer, comme vous le propose votre IV^e Section, des isolements de 3000 et 6000 mégohms par kilomètre serait, à mon sens, s'engager dans une voie où les acheteurs trouveraient probablement beaucoup de déceptions et où les fabricants de câbles trouveraient certainement beaucoup d'ennuis. »

M. E. BRYLINSKI : 1^o *Sur les canalisations souterraines.* — « La Communication que nous a faite M. le Président de la quatrième Commission, sur les Canalisations souterraines, me paraît appeler quelques observations.

» Tout d'abord la séparation entre les câbles de moyenne et de haute tension me paraît singulièrement arbitraire, et cela d'autant plus que la division des câbles en trois catégories de basse, moyenne et haute tension ne ressort pas d'une façon nette des travaux de la Commission.

» Il est bien certain qu'entre des câbles pour 110 volts et des câbles pour 10000 volts il y a des différences assez caractérisées

pour qu'on puisse à la rigueur les qualifier d'essentiellles; mais entre un câble pour 3500 volts et un câble pour 5000 volts y a-t-il une différence quelconque en dehors d'une petite variation dans l'épaisseur du diélectrique?

» Il peut y avoir, à ce qu'il me semble, d'autant moins de distinction à faire entre des câbles à 3500 et à 5000 volts, que ces câbles doivent résister, non seulement à leur tension normale, non seulement aux élévations de tension, toujours restreintes, qui peuvent survenir pendant l'exploitation par suite d'à-coups imprévus, mais encore à la tension que peuvent prendre à certains moments les harmoniques en résonance, au moins dans l'emploi des courants alternatifs.

» Or, on n'est pas maître des harmoniques, ou, pour être plus précis, des oscillations susceptibles de résonner. Car, si l'on peut imposer à un constructeur de réduire, dans les génératrices, les harmoniques de la courbe de force électromotrice à une faiblesse telle qu'ils ne puissent jamais devenir dangereux, si l'on peut même, à la rigueur, imposer les mêmes conditions aux abonnés qui installent sur le réseau des moteurs synchrones, il y a une cause d'oscillations dont on n'est pas maître. Chaque fois qu'on met en service ou qu'on supprime une machine ou un feeder, chaque fois même qu'il se produit sur le réseau une variation importante et un peu brusque de la charge, il en résulte des oscillations périodiques morties, dont la période dépend des self-inductances et des capacités en jeu, et qui peuvent parfaitement résonner à un moment donné et porter à l'improviste la tension à des valeurs bien supérieures à la normale. Il peut très bien arriver ainsi que des câbles pour 3500 volts, par exemple, aient à supporter en service des tensions plus considérables que des câbles pour 5000 volts, constituant, par l'effet du hasard, un réseau moins favorable aux résonances possibles.

» Il me semblerait donc préférable de diviser simplement les câbles en deux catégories: *haute* et *basse tension*, en spécifiant que la séparation entre ces deux catégories, qui manque d'ailleurs absolument de netteté, peut être fixée aux environs de 1000 volts, les câbles qui se trouvent dans cette région de séparation pouvant être, sans grand inconvénient, classés dans l'une ou l'autre catégorie

et ne possédant d'ailleurs aucun caractère assez spécial pour constituer une catégorie intermédiaire définie.

» Si, par contre, on préférerait maintenir la classification en trois catégories, je serais d'avis de chercher la haute tension beaucoup plus loin. On a fait, en Amérique, des lignes aériennes allant à 60000 volts et même davantage, et constaté qu'à partir d'une certaine tension les fils de ligne étaient entourés d'effluves lumineux dans l'obscurité. Ces tensions donnant lieu à effluves pourraient être considérées comme *de hautes tensions*, toutes les tensions de 1000 volts à 20000 volts dont nous avons l'habitude, et que rien ne distingue les unes des autres, étant dénommées *moyennes tensions*.

» Dès lors, il suffirait d'appliquer le qualificatif de *moyenne tension* à la catégorie que je proposais ci-dessus d'appeler de *haute tension*, et de dire pour la *haute tension* que sa limite inférieure peut être fixée provisoirement aux environs de 25000 volts, mais que, aucun câble de haute tension n'ayant été construit jusqu'à présent, cette limite est tout à fait approximative et susceptible de revision.

» Ce point étant fixé, la détermination des isolements à demander aux câbles suivant leur catégorie me paraît également bien arbitraire. D'une part cette détermination, telle qu'elle est présentée dans le rapport de la Commission, ne spécifie pas les conditions dans lesquelles doit être mesuré l'isolement.

» Or, l'électrification d'un câble variant très rapidement aux environs du moment où l'on met le courant, l'isolement mesuré à la seconde minute sera beaucoup plus grand que l'isolement mesuré à la première minute (parfois plus grand d'un tiers). Il faut donc fixer très exactement l'époque de la mesure.

» En outre, l'isolement d'un câble dépend énormément de la température et par conséquent, pour un câble posé, de la température moyenne qu'a prise le sol à la suite des variations diverses des journées qui précèdent l'essai. Ainsi, un câble donné, dont l'état ne changera pas et qui sera bon, pourra très bien, si l'on s'en réfère aux isolements pris sans précaution, être trouvé très bon en hiver et franchement mauvais en été. Il y a là un point qui mérite une étude très approfondie si l'on tient à définir des isolements minima pour les câbles de chaque catégorie.

» D'autre part, l'idée même d'imposer des isolements minima me paraît jusqu'à un certain point contraire à la constitution du diélectrique et au but visé. On cherche à avoir un câble supportant telle ou telle tension; il faut pour cela employer un diélectrique ayant une certaine résistance à la décharge disruptive. Au contraire, l'isolement, pour une épaisseur donnée, dépend exclusivement de la résistivité du diélectrique donné, qui n'a aucun rapport avec la résistance à la décharge disruptive.

» Demain, on peut trouver un diélectrique apte à l'isolement des câbles, possédant une énorme résistance à la décharge disruptive en même temps qu'une résistivité assez faible, et il n'y a pas grande témérité à prévoir que, dans un avenir qui n'est pas forcément éloigné, les câbles pourront être considérés comme très bons tout en ayant des isolements bien inférieurs à ceux que l'on propose aujourd'hui.

» Comme exemple du contraire, je puis vous citer l'air sec, qui est un des corps les plus isolants que l'on connaisse, mais dont la résistance à la décharge disruptive n'est pas très grande. Or l'Administration des Télégraphes emploie avec succès des câbles à air sec, et, sans la crainte bien naturelle qu'on éprouve à faire des essais de cette sorte sur la haute tension, il est probable que l'industrie électrique emploierait des câbles de cette espèce, au moins pour les tensions pas trop élevées. Je n'ai pas de données exactes sur la valeur des coefficients électriques de l'air, mais il me paraît bien probable que des câbles à air sec, ayant au galvanomètre l'isolement prévu par la Commission pour les hautes tensions, ne seraient pas en état de supporter dans la pratique des tensions d'une certaine importance, pour lesquelles on construit couramment des câbles à jute ou papier imprégné.

» J'estime donc, d'accord en cela avec la commission, que l'essai le plus nécessaire pour un câble de haute tension est l'essai fait à l'usine sous une tension notablement supérieure à la normale, et, à mon avis, cette tension majorée doit être appliquée aussi bien entre les conducteurs et la terre qu'entre deux conducteurs, en raison des éventualités qui peuvent se produire en service.

» Mais, si je suis d'accord sur la nécessité absolue de l'essai sous tension majorée à l'usine et sur les avantages, beaucoup moindres,

de l'essai sous tension majorée après pose, lorsque cet essai n'entraîne pas de difficultés spéciales, je suis tout à fait opposé à l'opinion que les essais au galvanomètre ne peuvent donner qu'un renseignement grossier sur la valeur d'un câble, et je crois, au contraire, que les essais galvanométriques sont le moyen d'investigation le plus sérieux pour se rendre compte de l'état d'un câble, étant donné, bien entendu, qu'il a subi les essais de haute tension à l'usine.

» Il ressort avec évidence, de ce que j'ai dit précédemment, que cet essai galvanométrique sera entouré de précautions nombreuses; en outre, il consistera essentiellement, non pas à mesurer un isolement, qui peut être insuffisant à lui seul à renseigner sur la valeur du câble, mais à relever les courbes d'électrification et de décharge successivement avec le courant négatif et le courant positif pendant un temps suffisant, à examiner la régularité de ces courbes, qui doivent présenter très approximativement une forme exponentielle, et à comparer les deux systèmes de courbes positives et négatives, qui doivent coïncider, aux écarts résiduels de zéro près.

» Par exemple, on pourra commencer par mettre le courant négatif, relever les déviations de minute en minute pendant 20 à 30 minutes, puis la décharge pendant 10 à 15 minutes, et l'on fera ensuite, après quelques minutes de décharge directe à la terre, la même série d'opérations avec le courant positif. Les déviations doivent aller en diminuant régulièrement, très rapidement au début, très lentement à la fin. S'il y a un très petit défaut sur le câble, il est presque sûr qu'avant la quinzième minute la déviation deviendra constante, puis se mettra à augmenter.

» Cette méthode, qui est longue, n'est évidemment à appliquer que dans le cas où l'on tient à être renseigné très exactement sur la valeur d'un câble. Elle ne serait pas applicable, d'ailleurs, à des essais faits dans des rues fréquentées, ou à des câbles placés dans la même tranchée que d'autres en activité, en raison des secousses que donneraient, soit les voitures, soit les inductions étrangères, à l'aiguille du galvanomètre et qui viendraient fausser les résultats.

» Elle n'est d'ailleurs pas nécessaire dans la grande majorité des

cas. Pendant une pose, par exemple, si l'on prend la précaution de refaire un essai d'isolement de toute la ligne après chaque nouvelle couronne posée, la comparaison de ces isolements journaliers renseignera, en général, très suffisamment sur la valeur du câble posé, et l'on évitera ainsi d'avoir, après plusieurs kilomètres posés, à localiser un dérangement dont la réparation entraînera parfois des semaines de retard.

» On peut avoir encore d'autres bases d'appréciation. Si, par exemple, un câble de 10^{km} donne un isolement total de 250^{Ω} , on peut se demander si l'isolement kilométrique moyen est de 2500^{Ω} , ce qui pourrait dans certains cas paraître faible, ou s'il y a un point faible de 250^{Ω} . Si l'on peut couper le câble aux environs de la moitié de sa longueur, ou bien on trouvera 500^{Ω} pour chaque section, et il y a des chances pour que le câble ait 2500^{Ω} par kilomètre, ou bien on trouvera un fort isolement d'un côté et 250^{Ω} ou un peu plus de l'autre, et il sera certain qu'il y a un point faible.

» Les méthodes galvanométriques bien employées sont ainsi susceptibles de donner des renseignements pouvant atteindre une bien plus grande précision que l'application brutale de la haute tension, même majorée.

» Reprenons en effet notre point faible de 250^{Ω} , et appliquons-lui 5500 volts. Le courant de dérivation qui traverse un défaut agit sur lui par l'électrolyse, qui est proportionnelle à la tension, et par son énergie, qui est proportionnelle au carré de la tension. Si, pour exagérer l'effet, nous ne considérons que cette dernière proportionnalité, ce défaut de 250^{Ω} pour 5500 volts correspondra, pour 110 volts, à un défaut 2500 fois moindre, soit 100 000 ohms. Or il me semble bien que des réseaux de 110 volts fonctionnent sans aucun inconvénient avec des isolements notablement inférieurs à 100 000 ohms, et que, par conséquent, l'application des 5500 volts ne décèlera nullement l'existence d'une partie faible de 250^{Ω} , ni même de sections encore moins isolées, alors que le galvanomètre l'indiquera immédiatement. »

M. GAY. — « Je vous prie de me permettre de dire encore un mot.

» Au cours de sa Communication, M. Brylinski vous a déclaré

qu'à son avis l'essai d'isolement constituait, non pas une vérification grossière de la qualité d'un câble, mais au contraire le moyen le meilleur peut-être que nous possédions d'apprécier cette qualité.

» Cela est, je le pense du moins, tout à la fois exact et inexact. Il s'agit de s'entendre. Si vous pouviez faire sur un câble souterrains des essais semblables à ceux qu'on fait sur les âmes des câbles sous-marins, si vous pouviez, par conséquent, mettre ce câble souterrain à une température rigoureusement déterminée, à 15°C. par exemple, si, le câble étant à cette température, vous pouviez faire de minute en minute une longue série de mesures d'isolement, d'abord avec le pôle négatif, puis avec le pôle positif, si vous pouviez, au cours de la fabrication, répéter plusieurs fois cette longue série d'essais, alors, soit ! les mesures d'isolement constitueraient peut-être un excellent moyen d'apprécier les câbles par les comparaisons qu'elles permettraient.

» Mais, en pratique, vous êtes, à l'usine, obligés de faire vos mesures à une température très mal déterminée ; après la pose, c'est bien pis et, dans ces conditions, les essais d'isolement doivent être simplement considérés comme une vérification grossière. »

M. BRYLINSKI : 2° *Sur les canalisations aériennes.* — « Je vous demanderai la permission de dire quelques mots sur les canalisations aériennes, à propos de l'intéressante étude de M. Loppé.

» Je crois, en effet, qu'il est utile de mettre en garde ceux des électriciens qui calculent leurs lignes aériennes, contre l'emploi exclusif de la méthode de M. Loppé pour la détermination de la portée à adopter.

» Ce n'est pas que je diffère d'avis avec M. Loppé sur les principes ou les résultats de son Étude, qui donne, aux constructeurs, des Tables extrêmement utiles pour calculer les lignes aériennes, ni sur l'importance qu'il y avait à rappeler actuellement (l'étonnement qu'a soulevé cette conclusion suffit à prouver cette importance) l'intérêt qu'il y a, au point de vue des conducteurs, à allonger les portées le plus possible.

» Je puis, à ce sujet, vous dire qu'ayant eu, il y a un peu plus de dix ans, à construire une ligne d'environ 35^{km}, si mes souvenirs sont exacts, dont je n'avais pas établi les devis, j'ai supprimé dans

la construction un bon tiers des poteaux prévus, à la profonde surprise de mon chef d'équipe, agent cependant très expérimenté et très intelligent. Ma ligne n'en a que mieux tenu; jamais je n'ai eu d'ennuis avec les grandes portées que j'ai établies, et dont l'une cependant était assez considérable pour avoir soulevé des objections avant son établissement.

» Mais il y a ligne et ligne, et, d'autre part, dans une ligne, il y a deux éléments essentiels distincts : les conducteurs et les appuis. Or, si la considération des conducteurs amène à augmenter le plus possible la portée, celle des appuis amène à ne pas lui laisser dépasser certaines valeurs, à cause du vent.

» Je ne considère, bien entendu, ni les potelets fixés sur de bons murs, auxquels on peut donner, en y mettant le prix, la solidité que l'on veut, ni les poteaux métalliques spécialement établis pour avoir une très grande résistance, mais dont le prix de revient est tel qu'une ligne aérienne ainsi établie reviendrait presque aussi cher qu'une canalisation souterraine sans en présenter les avantages. Je parle seulement des lignes établies sur poteaux en bois des modèles courants, et, pour simplifier, je ne considérerai qu'un tronçon en ligne droite, à portées égales de dimensions courantes, ce qui me permettra de négliger dans les calculs un certain nombre de termes, très petits dans ces conditions.

» Et d'abord, comment se traduit l'effet du vent sur une ligne ? Le vent est rarement horizontal et sera en général oblique à la ligne, mais il possédera toujours une composante perpendiculaire aux conducteurs qui nous intéresse seule.

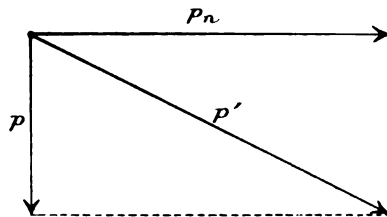
» Soit p_n la pression exercée par cette composante sur 1^m de conducteur et p le poids de 1^m de conducteur. Ces deux forces auront une résultante p' égale à $\sqrt{p^2 + p_n^2}$ et le conducteur dans l'état stable prendra sa position dans le plan défini par les deux points d'attache et la résultante p' (*fig. 1*).

» Il en résultera que la tension T du conducteur prendra une nouvelle valeur T' , et que cette tension se trouvera dans ce même plan. La résultante des deux tensions T' de part et d'autre du poteau aura une composante selon l'axe du poteau et une composante perpendiculaire au poteau, proportionnelle à $\frac{p_n}{p'}$ (*fig. 2*).

» La longueur de la portée sera limitée d'une part par cette augmentation de tension, et d'autre part par cette force perpendiculaire au poteau, qui le fait fléchir et peut arriver à le casser.

» Pour nous rendre compte du mécanisme de cette action, il nous

Fig. 1.

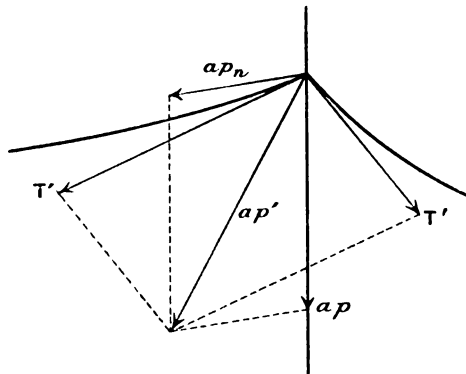


faut tout d'abord chercher la valeur de cette pression p_n . Je m'excuse d'y insister autant, mais vous pourrez constater tout à l'heure que cette pression est précisément l'élément qui limite strictement la portée dès que la ligne est un peu chargée de conducteurs.

» Je n'ai trouvé que peu de renseignements sur l'effet du vent ; voici ceux que j'ai recueillis :

» 1° La pression du vent sur une surface plane perpendiculaire à sa direction est proportionnelle au carré de la vitesse du vent, le

Fig. 2.



terme de proportionnalité comprenant un coefficient qui descend de 3, pour les grandes surfaces, jusqu'à 1,86 pour les petites surfaces ;

» 2° Sur une surface oblique, faisant l'angle α avec la direction du vent, la pression normale à la surface est égale à $P \sin^3 \alpha$,

» P représentant la pression que supporterait la surface si elle était normale ;

» 3° Sur un cylindre, la pression n'est que les 0,57 de la pression qui serait exercée sur la projection du cylindre ;

» 4° On a relevé une fois en Écosse un vent de 273^{kg} par mètre carré.

» Le paragraphe 1 est intéressant parce que, les poteaux et surtout les fils, étant des surfaces très étroites, nous aurons à affecter les pressions admises du vent, qui sont celles observées pour des surfaces d'une certaine étendue, du coefficient $\frac{1,86}{3}$ soit 0,62.

» Le coefficient 0,57 du paragraphe 3 paraît arbitraire à première vue ; mais on le trouve très aisément en appliquant la formule du paragraphe 2 au cas d'un cylindre. Il me paraît inutile de détailler ce calcul très simple.

» Si donc P est la pression sur une surface normale, la pression sur un poteau ou un conducteur de diamètre D exprimé en *millimètres*, par mètre de longueur, sera

$$\frac{0,62 \times 0,57 D}{1000} P = 0,0003534 PD.$$

» Quelle valeur devons-nous prendre pour P ?

» La première idée qui vienne à l'esprit est de prendre le *vent administratif* de 280^{kg}, celui qui est prescrit à l'*État de Renseignements* n° 2, bien connu de tous ceux qui ont eu à demander depuis quelques années des autorisations de lignes électriques.

» Mais il vous sera facile de constater, en refaisant avec ce vent les calculs que nous ferons plus loin, qu'un pareil vent jetterait à bas presque toutes les lignes de l'Administration des Télégraphes, alors qu'au contraire ces lignes résistent en général fort bien aux tempêtes. Ce vent de 280^{kg} est donc très exagéré.

» Pour avoir un point de comparaison, je vous rappellerai la petite tempête qui nous a atteints vendredi et samedi derniers. D'après le *Bulletin Météorologique*, le maximum a été atteint le 1^{er} février, à 1^h40^m de l'après-midi, avec une vitesse du vent de 27^m par seconde à la tour Eiffel, ce qui correspond à une pression de 90^{kg} par mètre carré.

» Il vous semblera sans doute qu'en admettant pour nos régions

une pression maxima de 170^{kg}, qui est presque double de samedi dernier, nous serons suffisamment couverts contre toutes les éventualités.

» Dès lors, la pression par mètre courant devient

$$0,06D.$$

» Nous sommes maintenant armés pour résoudre complètement le problème posé.

» Désignons par a la portée, par f la flèche et par ϵ le coefficient d'élasticité du conducteur, L sa longueur, S sa section.

» Nous avons, en temps calme,

$$f = \frac{a^3 p}{8T} \quad \text{et} \quad L = a + \frac{a^3 p^2}{24T^2}.$$

» Quand le vent souffle avec une composante normale p_n (que nous supposerons égale à la pression totale du vent pour nous mettre dans le cas le plus défavorable), ces éléments deviennent T' , f' , L' , et p' , avec les relations

$$f' = \frac{a^3 p'}{8T'},$$

$$L' = a + \frac{a^3 p'^2}{24T'^2},$$

$$L \left[1 + \frac{\epsilon}{S} (T' - T) \right] = L'.$$

» Posons pour simplifier l'écriture

$$K = \frac{p'}{p},$$

$$x = \frac{T'}{T},$$

et réduisons ces équations en négligeant les termes très petits, qui peuvent l'être sans nuire à l'exactitude des résultats; nous aurons

$$\frac{\epsilon T}{S} (x - 1) = \left(\frac{K^2}{x^2} - 1 \right) \frac{a^2 p^2}{24T^2}.$$

» Désignons maintenant par q la charge de rupture par millimètre carré, ζ le coefficient de sécurité et δ la densité; nous aurons

$$T = \zeta q S,$$

$$p = \frac{\delta S}{1000},$$

$$\frac{p}{T} = \frac{\delta}{1000 \zeta q}.$$

» Or, on tend généralement les conducteurs aériens de manière qu'ils soient à $\frac{1}{3}$ de la charge de rupture aux environs de la température de 10° C. Pour cette valeur on a, pour le fer et le cuivre,

$$\zeta q = \delta.$$

» Donc,

$$\frac{p}{T} = 10^{-3},$$

et, par conséquent,

$$\varepsilon \delta 10^6 (x - 1) = \left(\frac{K^2}{x^2} - 1 \right) \frac{a^2}{24},$$

ou enfin

$$\frac{K^2}{x^2} = 1 + \frac{24 \delta \varepsilon 10^6}{a^2} (x - 1).$$

» Cette équation du troisième degré se résout très aisément sous cette forme par approximations successives. Elle donne la fatigue des fils, qui ne doit pas dépasser une certaine limite; on peut admettre, par exemple, que T' ne doit pas dépasser $\frac{1}{3}$ de la charge de rupture, et la résolution de cette équation indiquera dans chaque cas si l'on reste dans la limite fixée.

» Cette équation nous indiquera aussi comment varie x suivant la portée et la nature du métal. Posons

$$\frac{x}{K} = \gamma,$$

$$\frac{24 \delta \varepsilon 10^6}{a^2} = \beta.$$

» Il vient

$$\frac{1}{\gamma^2} = 1 + \beta (K\gamma - 1).$$

» D'où, en différentiant,

$$\frac{dy}{d\beta} = \frac{1 - K\gamma}{K\beta + \frac{2}{\gamma^3}};$$

or

$$1 - K\gamma = 1 - x$$

est toujours < 1 ; donc $\frac{dy}{d\beta}$ est toujours négatif. On en tire deux conclusions :

» 1° $\frac{x}{K}$ est d'autant plus grand que la portée est plus grande; car quand a augmente, β diminue, donc γ augmente, par conséquent le

vent fatigue plus les fils dans les grandes portées que dans les petites.

» 2° Pour le fer, $\varepsilon\delta$ est plus petit que pour le cuivre; donc, toutes choses égales d'ailleurs, les conducteurs en bronze silicieux supporteront mieux le vent que les conducteurs en fer.

» Mais la fatigue des fils sous l'action du vent, tout en étant d'un sens tel qu'il tend à limiter la portée, n'est pas ce qui la limite le plus étroitement. Le vent fait, en effet, beaucoup plus souffrir les poteaux que les fils.

» Si l'on considère les deux tensions T qui s'exercent sur un isolateur de la part de deux portées consécutives, un calcul simple montre qu'elles ont une résultante dont la direction est celle du poteau et la valeur pa . De même, les deux tensions T' , qui remplacent les tensions T dès qu'il y a du vent, ont une résultante située dans le plan de la résultante p' et du poteau, et qui a pour valeur ap' . La composante normale au poteau sera

$$ap' \times \frac{p_n}{p'} = ap_n.$$

» C'était presque évident *a priori*.

» S'il y a plusieurs conducteurs, cette force fléchissante sera, en nous reportant à la valeur de p_n , pour le vent admis,

$$0,06 a \Sigma D,$$

et il faut y ajouter la pression du vent sur le poteau, qui, sur des poteaux un peu grands, sera d'environ une trentaine de kilogrammes, sans qu'il soit nécessaire pour notre travail de la calculer plus exactement.

» Nous allons faire deux applications de cette formule :

» 1° Soit une ligne de dix fils de fer de 0^m,004 de diamètre avec des portées de 60^m. La force perpendiculaire au poteau sera

$$0,06 \times 60 \times 40 + 30 = 174^{\text{kg}}.$$

» On admet généralement que de pareils poteaux ne supportent que 100^{kg}; ils devraient donc casser. Mais on peut expliquer qu'ils tiennent en supposant qu'ils peuvent supporter sensiblement plus, dans des cas exceptionnels, qu'on ne l'admet en général, que le vent de 170^{kg} est très rare, et que ce n'est que très exceptionnellement que cette pression de 170^{kg} sera rigoureusement normale à la ligne.

» En somme ce résultat concorde suffisamment avec l'expérience.

» 2° Soit maintenant une ligne composée de douze fils de bronze silicieux de 0^m,008 de diamètre. Quelle sera la portée maxima possible, en admettant que les poteaux supportent précisément cette force normale de 174^{kg} que nous venons d'établir ?

» Nous aurons

$$0,06 a \times 96 + 30 = 174^{\text{kg}},$$

d'où

$$a = 2,5^{\text{m}}.$$

» Cette portée de 2,5^m est évidemment très courte, je crois pouvoir dire trop courte, ce qui tient très probablement à ce que le vent n'atteint jamais la pression de 170^{kg} dans nos régions.

» Si l'on admettait le *vent administratif* de 280^{kg}, une telle ligne ne devrait pas avoir de portée supérieure à 15^m. On voit où l'on en arrive.

» Mais, même si le vent n'atteint jamais chez nous de pareilles forces, les exemples donnés indiquent nettement combien l'effet du vent, par la flexion qu'il imprime aux poteaux, restreint étroitement la portée. Je crois qu'il n'était pas inutile de mettre ce fait en évidence après qu'un Travail très intéressant et très étudié, mais basé sur la seule considération du conducteur, avait eu pour conclusion qu'il fallait allonger beaucoup les portées des lignes aériennes. »

M. le PRÉSIDENT remercie MM. Grosselin, Gay et Brylinski de leurs intéressantes remarques.

M. PICOU (*Communiqué*). — « La discussion engagée sur les conditions de définition et d'essais des câbles souterrains industriels me paraît avoir mis en lumière un certain nombre de points des plus intéressants. Il est seulement regrettable que les ingénieurs ayant charge d'exploitations, qui sont les rédacteurs habituels des cahiers de charges, y aient pris une part aussi restreinte.

» Le premier point qui semble acquis et sur lequel il faut espérer que l'accord existe entre constructeurs et consommateurs, c'est l'insignifiance absolue des chiffres d'isollements atteignant les milliers de mégohms kilométriques. Ces valeurs élevées, qui semblent un dernier vestige des spécifications relatives aux âmes de

câbles sous-marins, sont absolument dépourvues de sens pour nos câbles industriels. On n'a jamais apporté même l'ombre d'un argument en faveur de la supériorité d'un isolement de 3000^{Qkil} sur un de 30; et l'on peut se demander quel est l'état d'esprit des rédacteurs de cahiers de charges qui non seulement perpétuent ces errements, mais vont en les aggravant sans cesse. M. Grosselin a rappelé, avec raison, que depuis 10 ans les exigences ont passé de 10 à 5000^{Qkil}. Si, comme on l'a fait remarquer, on découvre une composition douée d'une très grande rigidité diélectrique, de 10 kilovolts par millimètre, par exemple, un câble à deux conducteurs recouverts chacun de 0^{mm},5 de ce composé pourra fonctionner à 3000 volts avec un coefficient de sécurité égal à 3. Mais, si le pouvoir isolant de ce composé est seulement égal à celui des matières employées aujourd'hui, il est fort probable que l'isolement sera bien inférieur à 500^{Qkil}, surtout si la section est un peu forte. Faudra-t-il, pour cela, renoncer aux avantages économiques de cette nouvelle matière ?

» Est-ce à dire que les essais d'isolement soient inutiles ? Loin de là ; mais il faut leur donner leur véritable signification. Les valeurs de l'isolement sont fort utiles à connaître en tant que *valeurs comparatives*. Pour le constructeur, l'uniformité de ces valeurs indiquera pour des *câbles de même espèce, bien mesurés* (1), la régularité de la fabrication des différents tronçons.

(1) Il importe, en particulier, de bien spécifier la méthode de mesure, le temps de charge, et de rapporter les mesures portant sur des câbles dont la matière isolante est la même, mais les dimensions variables, comme âme et épaisseur de couverture, à des *durées d'électrification comparables*.

Les durées d'électrification, qui ne sont même pas toujours définies dans les cahiers de charges, sont arbitrairement choisies. Or, pour comparer deux câbles isolés avec des matières identiques, il faut nécessairement les prendre au même degré de polarisation ; et, pour cela, choisir des durées d'électrification définies par la loi

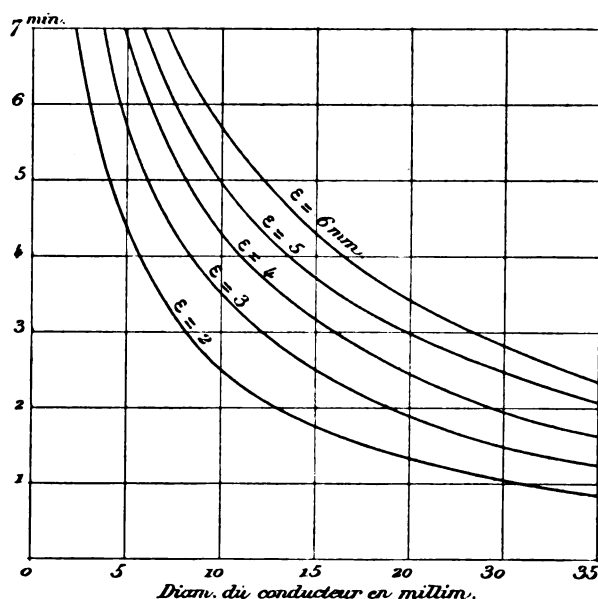
$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\log \frac{D_1}{d_1}}{\log \frac{D_2}{d_2}}.$$

J'ai, autrefois, calculé dans ce but, un Tableau des durées d'électrification comparables sur la base arbitraire $\frac{t}{\log \frac{D}{d}} \approx 2000$, correspondant à une assez forte polarisa-

» Un écart dénotera, en général, un défaut à rechercher et éliminer. Ces mesures, de pure comparaison et sans aucun sens quant à leur valeur absolue, sont donc un excellent contrôle de la fabrication. Comme telles, c'est leur régularité d'ensemble qui importe, c'est le groupement des valeurs individuelles des bobines autour d'un chiffre moyen qui peut être à peu près quelconque, entre 100 et 5000 mégohms par kilomètre.

» Il est donc vivement à désirer que les prescriptions de hauts isolements disparaissent absolument des cahiers de charges, et que les chiffres qui y figureront soient limités à des valeurs modérées. Quant à chiffrer cette valeur, cela semble bien difficile, aussi longtemps que lesdits cahiers de charges, comme aussi les catalogues des fabricants, ignoreront de parti pris l'influence du diamètre du conducteur sur la valeur de l'isolement du câble et astreindront le câble de 100^{mm} au même isolement kilométrique que le fil de 3^{mm}.

tion. Il sera peut-être utile de le reproduire ici :



Les valeurs comparatives ne sont applicables, bien entendu, que pour un même diélectrique.

Les valeurs du Tableau conviennent pour le caoutchouc. Elles peuvent être un peu réduites pour les isolants généralement employés avec les matières fibreuses.

Tout est donc à bouleverser dans les rédactions usuelles relatives à l'isolement; et, à mon avis, il conviendrait de limiter les spécifications à ceci : que nulle bobine de câble ne devrait s'écarter de la valeur moyenne de l'isolement de l'ensemble de plus d'une quantité donnée. L'écart pourrait être de 25 pour 100 en plus ou en moins, par exemple; mais il ne faut pas penser à préciser un chiffre, si ces vues sont admises, avant que les expériences aient permis de reconnaître quels sont les écarts inévitables malgré le soin apporté à la fabrication.

» Passant aux essais à la rupture du diélectrique : les spécifications doivent comprendre l'essai à l'atelier, sous une tension égale à K fois la tension de service. K est le coefficient de sécurité réel. Il est remarquable que, si les exigences des cahiers de charges sur cet essai, qui a un rapport immédiat et direct avec les conditions d'emploi, étaient comparables à celles relatives à l'isolement, la valeur de K devrait être quelque chose comme 1000 ou 10000. Or, il semble qu'on se contente de 2.

» Est-ce suffisant? Je pense qu'on ne peut pas adopter une valeur conventionnelle définie telle que 2 ou 3. En effet, le facteur de sécurité nécessaire dépend des conditions de l'exploitation, et, notamment, des qualités des alternateurs. C'est donc à l'ingénieur de l'exploitation qu'il appartient d'arrêter ce chiffre. Ce qui doit être bien entendu, c'est que l'essai à l'atelier s'entend fait avec une force électromotrice sinusoïdale.

» Le constructeur du câble ne doit pas avoir à connaître les formes des courbes des alternateurs de l'exploitant. C'est ce dernier qui doit les bien connaître; et s'il possède des machines à courbes pointues ou seulement très déformées, il fera sagement de ne pas s'en tenir au coefficient de sécurité de 2. La valeur 3 ne sera pas de luxe.

» Examinons maintenant les essais après pose. Une remarque importante doit dominer toute discussion sur ce point; c'est la suivante.

» Les essais après pose ont pour objet de vérifier *tout autre chose* que les essais à l'atelier; par suite, il n'y a aucun rapport direct à établir entre les valeurs des coefficients des mesures à l'atelier et sur le terrain. A l'atelier, on a contrôlé la *qualité des matériaux*. Après pose, on contrôle la *qualité du travail de pose*.

» L'isolement après pose est celui des boîtes de jonction, de regard, des têtes de branchements, etc. Celui de l'âme même du câble disparaît dans l'ensemble. Le chiffre à fixer dépend donc du nombre et de la nature de ces accessoires; il est impossible de le fixer *a priori*.

» On peut dire, tout au plus, qu'un petit nombre de mégohms sera toujours suffisant pour n'apporter aucun trouble dans l'exploitation.

» Quant à l'essai à la rupture, il est important de le faire avec les machines mêmes de l'exploitation. Une tension égale à 1,25 fois celle du service normal, tension qu'il sera généralement facile d'atteindre, semble suffisante; mais 1,5 serait certainement préférable.

» Une fois ces épreuves faites, le constructeur du câble ne doit plus être tenu qu'à la garantie usuelle d'une année. Encore est-il indispensable de stipuler que cette garantie ne porte que sur les vices cachés, de fabrication ou de pose, qui ont échappé de bonne foi aux essais, et que la sanction est la réparation sans frais du défaut constaté.

» Malheureusement, lors d'un accident, c'est une tendance trop fréquente de l'exploitant d'incriminer d'abord la qualité du matériel, câbles, appareils de tableau, ou dynamos, selon le point où se sont manifestées les conséquences de l'accident. Il faudrait faire tout d'abord un examen de conscience pour s'assurer si l'exploitation même a été réellement irréprochable.

» On commence à savoir que les phénomènes consécutifs à la rupture d'un court-circuit déterminent dans les câbles des survoltages terribles; et il ne faut pas oublier que cela se produit aussi sur les distributions par courant continu. Les tensions atteintes dans ces conditions se chiffrent par centaines de mille volts. Personnellement, j'ai pu noter un certain nombre de cas d'accidents qui se rattachent à ces causes, et dont voici un exposé sommaire :

» 1° Dans une distribution par courant continu sous 2500 volts, avec câbles souterrains, un appareil disjoncteur intercalé dans le circuit principal, mal isolé, provoque une mise à la terre. Au même moment une seconde terre se produit dans une sous-station par rupture d'un isolant insuffisant.

» Immédiatement une étincelle éclate sur l'induit de l'une des génératrices dont la masse était isolée de la terre, perce les isolants ordinaires, plus 1^{mm} de caoutchouc, et va chercher terre par le moteur à vapeur, en franchissant l'entrefer d'environ 10^{mm} du joint Raffard. Les traces de matière fondue sur ces pièces ne laissent aucun doute sur le trajet de l'étincelle.

» Bien entendu, le personnel de l'exploitation a rejeté la faute sur le constructeur de la dynamo, alors qu'il n'y avait là qu'un défaut d'isolement d'appareillage.

» 2° Dans un transport de force par courant alternatif sous 5000 volts, il arriva que la station de réception ferma le circuit sur la réceptrice sans que celle-ci fût excitée. L'homme du tableau, instantanément averti par le ronflement produit, coupa de suite le courant qu'il venait de lancer. Au même instant, un arc éclata entre les extrémités des barres de tableau distantes de 0^m,30 au moins.

» 3° Dans une usine d'éclairage, on ferma le circuit sur un câble qui s'était trouvé écrasé depuis la précédente mise en charge. Même phénomène d'arc entre barres du tableau, très éloignées entre elles.

» 4° Sur un réseau aérien à 5000 volts, prolongeant une ligne souterraine, l'équipe d'entretien oublie, sur une ferrure d'isolateurs, des fils de ligature. Un vent violent étant survenu la nuit, ces fils déterminent un court-circuit, aussitôt coupé par fusion du fil. Le câble cède au même instant, et, à la recherche, on le trouve percé en deux endroits.

» Ces exemples sont journaliers; ce qu'il importe de remarquer, c'est qu'ils sont toujours, à mon avis du moins, consécutifs à des accidents d'exploitation.

» Mais cette opinion n'est généralement pas celle des exploitants. Le personnel subalterne n'a que trop d'intérêt à cacher les fautes qu'il peut commettre dans son service. Les accidents restent alors inexpliqués et l'on accuse naturellement le matériel, le câble dans le cas qui nous occupe. Je ne prétends pas que des câbles n'aient pas souvent eu, en eux-mêmes, des causes de rupture : points faibles par décentrement, par absence d'imprégnation, etc.; mais il semble bien difficile qu'après des essais sérieux et une année de bonne marche en service il puisse subsister de défaut notable de ce genre.

» En résumé, c'est à l'exploitant qu'il appartient de savoir exactement quel câble lui convient, et de le définir par une spécification raisonnée, indiquant nettement les conditions des essais. Qu'il abandonne les milliers de mégohms, chiffres fantasmagoriques sans utilité, au profit de chiffres plus en rapport avec les nécessités de l'exploitation; et ce cahier de charges sera le terrain d'entente où chacun trouvera la délimitation de ses responsabilités. Il ne sera pas nécessaire, pour cela, de transformer les constructeurs en assureurs de leur fourniture contre les risques d'une exploitation qu'ils ne peuvent ni apprécier ni même connaître. »

Clichy, le 4 février 1902.

*Monsieur le Président de la Société internationale des Électriciens,
Paris.*

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

Ne pouvant nous rendre à la séance de mercredi, et pour faire suite à votre circulaire du 15 janvier, relative aux canalisations électriques, nous avons l'honneur de vous adresser ci-dessous nos réflexions à ce sujet :

Première question. — Nous estimons que la solution qui est proposée est bonne, en ce sens qu'il nous paraît de toute évidence que c'est à celui qui emploie les câbles à savoir ce qui lui est nécessaire, et à spécifier en conséquence ses commandes.

Deuxième question. — Nous considérons que l'isolement kilométrique n'a qu'une valeur absolument relative et n'est qu'une vérification grossière de l'absence de défauts caractérisés dans les câbles. Il faut bien se garder d'attacher une importance exagérée à cet isolement et, par suite, d'exiger des chiffres trop élevés. Nous attirons tout particulièrement l'attention sur ce fait, car nous estimons qu'il y a lieu de ne pas égarer l'esprit des électriciens sur des données qui ne nous paraissent pas très sûres. La question est d'ailleurs extrêmement délicate en ce sens que, dans le cas de réglementation, il y aurait lieu de spécifier toutes les conditions dans lesquelles les essais doivent être effectués.

Il nous semble que la Société des Électriciens aborderait une série de questions plus délicates les unes que les autres.

S'il est toutefois jugé nécessaire d'indiquer des chiffres pour fixer les idées, nous proposerons les suivants :

Basse tension : jusqu'à 500 volts.....	300 mégohms	} pour essai en usine,
Moyenne tension : jusqu'à 2500 volts.....	1000 "	
Haute tension : jusqu'à 10000 volts.....	2000 "	

et moitié de ces chiffres après la pose.

Troisième question. — Nous sommes de l'avis émis, qui confirme ce que nous avons dit précédemment : qu'il n'y a pas de corrélation entre le pouvoir isolant du diélectrique et son pouvoir de résistance à la tension.

Quatrième, cinquième, sixième, septième questions. — Nous sommes de l'avis des réponses faites à ces questions.

Huitième question. — La question ne se pose pas : il s'agit de savoir simplement si l'on veut essayer tout le réseau, et, dans ce cas, l'essai porte aussi bien sur la canalisation que sur les appareils ou, si l'on veut essayer simplement la canalisation de distribution, dans ce cas tous les appareils d'utilisation doivent être débranchés.

Il est évident que, si le premier cas est adopté, le constructeur de câbles est mis hors de cause; en effet, il ne peut être rendu responsable de l'isolement des appareils tels qu'interrupteurs, plombs fusibles, etc., qui diminuent dans une proportion *considérable* l'isolement de la canalisation proprement dite.

Neuvième question. — Les câbles torsadés sont depuis quelques années toujours préférés aux câbles concentriques.

Nous vous prions d'agréer, Monsieur le Président, l'expression de nos sentiments distingués.

GEOFFROY et DELORE.



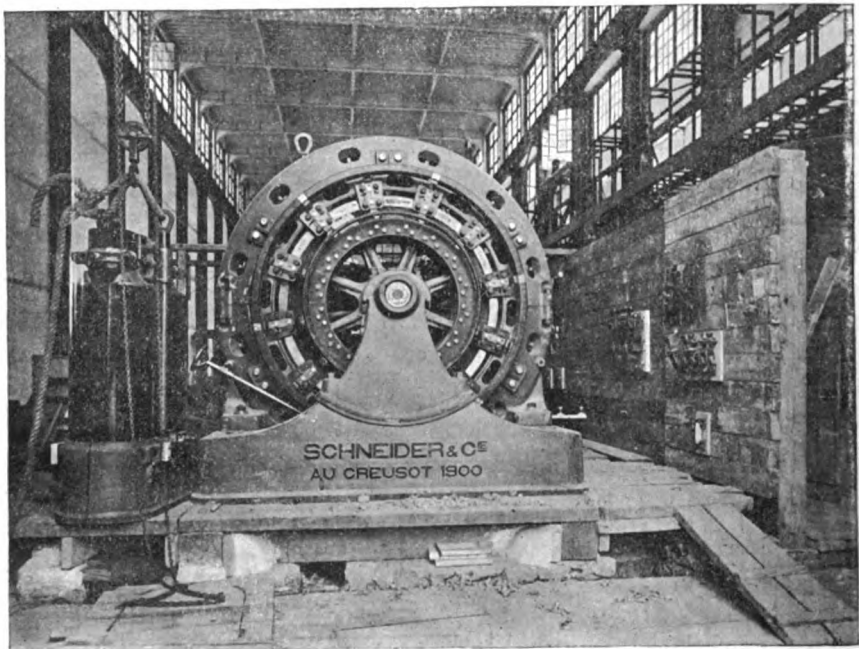
LE CHEMIN DE FER MÉTROPOLITAIN DE PARIS.

M. DÉTROYAT. — « Messieurs, je vais essayer de vous donner un aperçu général sur le Chemin de fer métropolitain tel qu'il est exploité actuellement, en ce qui concerne la partie électrique. J'examinerai successivement la distribution de l'énergie, sa production, et son utilisation. Je terminerai ce rapide exposé en vous disant quelques mots sur les lignes futures.

DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE.

» *Traction.* — L'énergie est distribuée sous forme de courant continu à la tension moyenne de 550 volts. Un troisième rail en

Fig. 1.



Commutatrice.

acier dur supporté par des isolateurs tirefonnés sur des traverses spéciales de la voie, permet d'alimenter les moteurs des voitures par l'intermédiaire de pièces en fonte qui frottent sur sa surface supé-

rière. Ce rail est relié par le chemin le plus court aux centres d'alimentation par des câbles nus ou isolés. Il n'y a donc pas de feeders de ligne proprement dits.

» *Éclairage.* — La lampe à incandescence unité est la lampe de 110 volts, et l'éclairage est assuré par des circuits de 5 lampes en série, le courant utilisé étant du courant continu à la tension moyenne de 550 volts.

» Pour éviter autant que possible l'extinction totale, nous avons prévu deux circuits absolument distincts, alimentant, l'un, le côté gauche de la ligne, l'autre, le côté droit; de plus, au tableau des centres d'alimentation, ces circuits sont branchés sur les barres du tableau avant les appareils de sécurité, afin qu'en cas de disjonction sur le circuit de traction, le ou les batteries d'accumulateurs existants puissent assurer l'éclairage et éviter ainsi la panique.

PRODUCTION DE L'ÉNERGIE.

» Nous avons actuellement une station centrale située au 46, quai de la Rapée, et une sous-station de transformation située sous la place de l'Étoile.

USINE DE BERCY.

» L'usine comporte actuellement trois groupes électrogènes, dont un à courant continu, des dynamos auxiliaires, des groupes de transformation, une batterie d'accumulateurs et un tableau de distribution.

» *Dynamo à courant continu.* — La dynamo à courant continu est à induit à rainures et bobinages à barres à sections homopolaires en parallèle. Elle peut fournir normalement 1500 kilowatts sous 600 volts et supporter facilement 2000 kilowatts.

» L'inducteur comporte 20 pôles.

» L'excitation est en simple dérivation.

» La dynamo est commandée par une machine à vapeur verticale compound, à condensation, d'une puissance de 2600 chevaux indiqués.

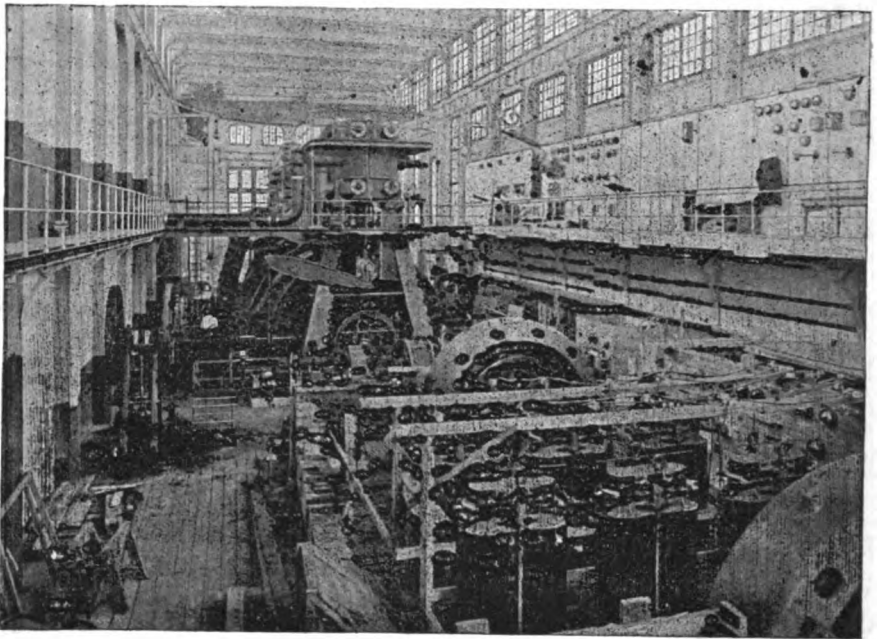
» *Alternateurs.* — Les alternateurs triphasés peuvent fournir normalement 1500 kilowatts sous 5000 volts et 25 périodes, et supporter facilement 2000 kilowatts.

» Le système inducteur comporte 42 pôles radiants, avec bobines inductrices à ruban en cuivre nu.

» L'écart de tension entre la pleine charge et la marche à vide, à excitation constante, est de 8 pour 100.

» La dépense d'excitation actuelle est de 2,2 pour 100 environ de la quantité d'énergie produite.

Fig. 3.



Vue générale de la salle des machines.

» *Dynamos auxiliaires.* — Les dynamos auxiliaires comprennent les groupes d'excitation et les groupes survolteurs.

» Ces groupes sont des transformateurs rotatifs formés de deux dynamos montées sur le même arbre par l'intermédiaire d'un joint élastique.

» Les premiers, d'une puissance de 65 kilowatts chacun, transforment le courant continu de 600 volts en courant continu de 130 volts; ils sont à excitation en simple dérivation. Ils assurent

non seulement l'excitation des alternateurs, mais aussi l'éclairage du bâtiment d'administration, et celui des services de l'usine qui n'est pas permanent.

» Chaque groupe est suffisant pour deux groupes électrogènes.

» Les seconds, d'une puissance de 200 kilowatts chacun, transforment le courant continu de 600 volts en courant continu dont le voltage varie soit automatiquement de 0 à ± 25 volts, soit progressivement jusqu'à 150 volts, suivant que la batterie est en volant ou en simple charge.

» Les moteurs de ces groupes sont excités en dérivation, tandis que les génératrices placées en tension entre les sources à courant continu et les accumulateurs comportent un double enroulement inducteur.

» L'enroulement série est parcouru en principe par le courant total reçu ou débité par la batterie d'accumulateurs. Un shunt permet de le régler une fois pour toutes, de façon que, sur un débit donné, il assure un voltage donné.

» L'enroulement dérivation branché sur les barres du tableau est destiné, soit à équilibrer le voltage de la batterie suivant le voltage de distribution, soit à forcer ce voltage pour charger la batterie. Un rhéostat permet d'en régler l'action. De cette façon, la batterie intervient efficacement, soit à la charge, soit à la décharge, et assure aux groupes électrogènes une charge à peu près constante.

» *Groupe de transformation.* — Chaque groupe, d'une puissance de 750 kilowatts, comprend trois transformateurs statiques monophasés, réduisant la tension de 5000 à 430 volts, et une commutatrice transformant les courants alternatifs à 430 volts en courant continu à 600 volts.

» Les transformateurs sont connectés en triangle aux primaires, tandis que les secondaires sont indépendants.

» Ils sont ventilés artificiellement.

» Les commutatrices comportent, du côté du courant continu, un collecteur ordinaire et, du côté du courant alternatif, six bagues reliées aux sections homopolaires du bobinage placées à 60° l'une de l'autre.

» Elles sont à jonctions diamétrales et tournent à 250 tours.

» La mise en marche s'effectue au moyen du courant continu; et le rendement de ces groupes de transformation est de 88 à 90 pour 100.

» *Batterie d'accumulateurs.* — La batterie d'accumulateurs possède 270 éléments. Elle a une capacité de 1600 ampères-heure au régime de décharge en 1 heure, peut débiter trois fois sa capacité en 24 heures, et supporte sans inconvénient des à-coups de 3000 ampères.

» *Tableau de distribution.* — Le tableau, situé à la hauteur du premier étage des groupes électrogènes, comporte les appareils nécessaires à la bonne marche de l'Usine et du réseau.

SOUS-STATION DE L'ÉTOILE.

» Cette sous-station étant une station de transformation du courant alternatif 5000 volts en courant continu 600 volts, nous y retrouvons les mêmes machines et appareils qu'à l'usine de Bercy, sauf toutefois les groupes électrogènes. Nous ne nous y arrêtons donc pas. Nous signalerons toutefois que, sur quatre commutatrices en service, trois sont du type décrit ci-dessus, tandis que la quatrième est à jonction en double triangle, et tourne à 300 tours. Ces différences n'ont amené, jusqu'à présent, aucune difficulté, ni pour la mise en parallèle ni pour la marche en parallèle.

» D'après le projet primitif, l'usine de Bercy devait alimenter seule la sous-station de l'Étoile et assurer ainsi l'alimentation de la ligne n° 1 et des embranchements actuellement en exploitation.

» Pour des causes imprévues, cette usine n'a pu être prête à temps, et nous avons dû nous adresser, au début, à l'usine de la Compagnie parisienne de l'air comprimé, située sur le boulevard Richard-Lenoir. Nous avons pu ainsi avoir du courant continu qui nous a permis non seulement de charger notre batterie, grâce à un survolteur prêt à temps, mais aussi d'assurer le trafic, restreint, il est vrai, en faisant le montage indiqué ci-dessus, qui évitait de trop gros à-coups aux machines de l'usine du boulevard Richard-Lenoir.

» Plus tard, le trafic ayant sensiblement augmenté, nous nous

sommes adressés à l'usine des Moulineaux et à celle du « Triphasé » à Asnières, pour la fourniture du courant triphasé, 5000 volts, 25 périodes.

» Cette solution était possible, grâce à l'existence :

» 1° De câbles de la Compagnie de l'Ouest allant de l'usine des Moulineaux au pont de l'Alma.

» 2° De câbles allant du pont de l'Alma à la place de l'Étoile (ayant servi à alimenter la sous-station des Transports électriques de l'Exposition).

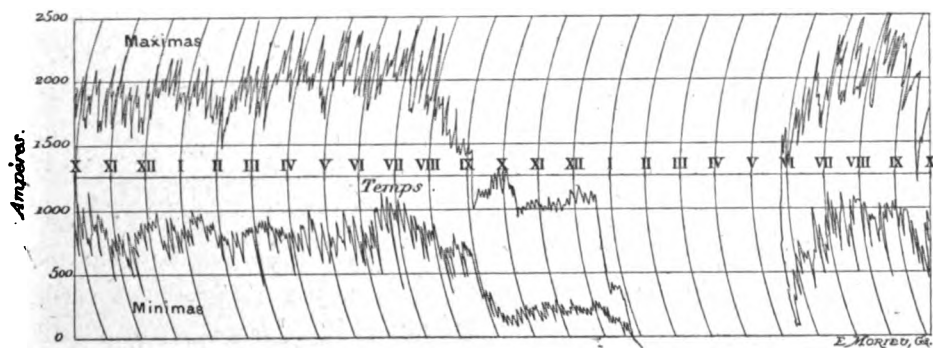
» 3° De câbles allant de la place de l'Étoile à l'usine du Triphasé à Asnières (ayant servi également à alimenter la sous-station des Transports électriques de l'Exposition).

» 4° De câbles allant de l'usine de Bercy à la sous-station de l'Étoile.

» Ces câbles de 3×180 posés le long de notre voie sont au nombre de deux; ils peuvent transporter chacun une puissance de 1500 kilowatts.

» Depuis le 1^{er} novembre 1901 jusqu'au 15 janvier 1902, notre usine de Bercy a fourni seule l'énergie nécessaire à l'exploitation actuelle. Depuis cette époque, de nouveaux traités passés avec les usines ci-dessus nommées nous ont obligés à changer notre régime d'alimentation.

Fig. 3.

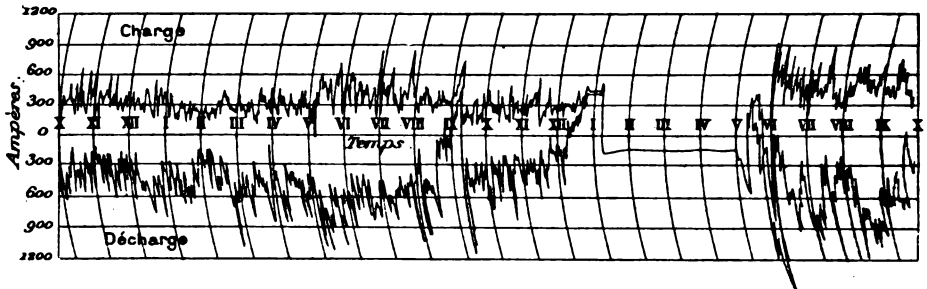


» Pour permettre de se rendre compte des variations de débit, nous reproduisons ci-dessous des courbes prises d'après celles des ampèremètres enregistreurs de l'usine de Bercy le 9 janvier 1902.

» La figure 3 donne le débit de la ligne, non compris l'éclairage.

» La figure 4 donne le débit de charge et de décharge de la batterie.
 » Étant donné que la sous-station de l'Étoile prend une charge à peu près équivalente, on peut rapprocher les variations

Fig. 4.



de ces courbes de celles du nombre et de la composition des trains en service, aux différentes heures de la journée, sur la ligne n° 1.

» Il faut toutefois tenir compte du fait que cette sous-station alimente seule les embranchements, où circulent, sur celui de la Porte-Dauphine, 2 trains de 3 voitures, et sur celui du Trocadéro 2 trains de 4 voitures, jusqu'à 8^h du soir; à partir de ce moment un seul train de même composition circule sur chacun d'eux.

» Le Tableau suivant indique les différents nombres de trains et leur composition sur la ligne n° 1 :

De 5 ^h 30 ^m du matin à 9 ^h du matin	18 trains à 4 voitures. 6 » 5 » 4 » 7 » — 28 »
De 9 ^h du matin à midi	20 trains à 4 voitures. 6 » 5 » — 26 »
De midi à 3 ^h du soir	18 trains à 4 voitures. 6 » 5 » 2 » 7 » — 26 »
De 3 ^h du soir à 8 ^h du soir	16 trains à 4 voitures. 6 » 5 » 6 » 7 » — 28 »
De 8 ^h du soir à minuit 30	12 trains à 4 voitures. — 12 »

» Pour assurer cette exploitation par l'usine de Bercy seule, deux groupes électrogènes sont en marche de 5^h 30^m du matin à 9^h 30^m du soir, et un seul groupe suffit jusqu'à la fin du service.

» Si l'on examine la courbe de l'ampèremètre des accumulateurs, on remarque que l'on a chargé la batterie de 9^h à 9^h 15^m environ avant d'arrêter le second groupe, et de minuit 15^m environ jusqu'à l'arrêt, lorsque le trafic diminuait sensiblement.

» La nuit, la batterie assure l'éclairage nécessaire de la ligne.

» Dans ces conditions de marche, la batterie absorbe environ $\frac{1}{4}$ pour 100 de l'énergie produite, mais elle permet aux groupes électrogènes de travailler presque à charge constante.

» La consommation de charbon est ainsi de 1^{kg}, 8 par kilowatt-heure de courant continu, ce charbon étant du tout venant 30,35 pour 100 mélangé, vaporisant 7^{kg}, 5.

» En ce moment l'usine de Bercy prend de l'extension. Un nouveau groupe électrogène triphasé de 1500 kilowatts est en montage. Trois nouveaux groupes de 2100 kilowatts sont commandés, et, pour avoir la puissance totale prévue, un quatrième groupe de même puissance est nécessaire.

» Ces nouveaux groupes sont encore des machines verticales compound, à condensation; mais nous avons prévu le réchauffage et le surchauffage de la vapeur qui nous permettront probablement d'atteindre une consommation de 5^{kg} de vapeur par cheval indiqué.

UTILISATION DE L'ÉNERGIE.

» *Matériel roulant.* — Dès le début de l'exploitation, nous avons prévu comme unités de trains, des rames de quatre voitures, dont une motrice et quatre attelages.

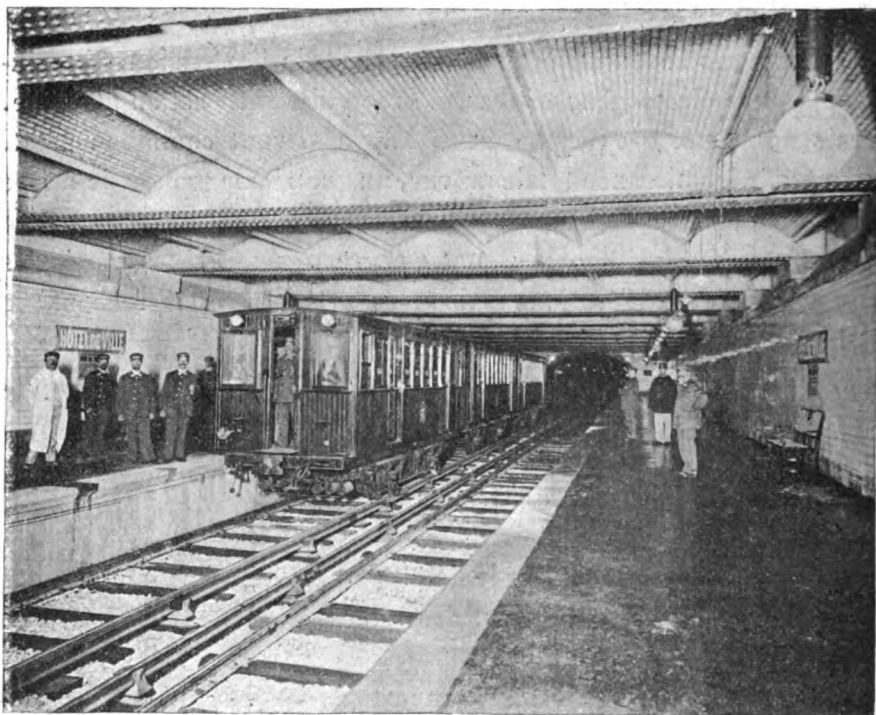
» Les motrices de ces rames comportent, comme équipement électrique, deux moteurs de 100 chevaux actionnant chacun un essieu par l'intermédiaire d'un pignon et d'une roue dentée, un contrôleur commandant ces deux moteurs; quatre frotteurs recueillant l'énergie sur le troisième rail, et les appareils de sécurité ordinaires, disjoncteur automatique, fusible et parafoudre.

» Les moteurs sont à enroulement série.

» Les contrôleurs sont du type ordinaire série parallèle avec soufflage magnétique.

» Les frotteurs étaient primitivement suspendus au-dessous des boîtes à graisse, par l'intermédiaire de quatre bielles qui permettaient à la plaque de frottement de se mouvoir dans tous les sens. Des difficultés provenant de la dislocation de ces frotteurs, et de leur mauvais isolement, nous ont amenés à fixer ceux-ci sur un bloc de bois en porte à faux sur la boîte à graisse, ou sur une pièce de bois située entre les deux essieux, d'un même côté, et s'appuyant sur des étriers fixés sur les boîtes à graisse, permettant le jeu des essieux dans les courbes, sans inconvénient.

Fig. 5.

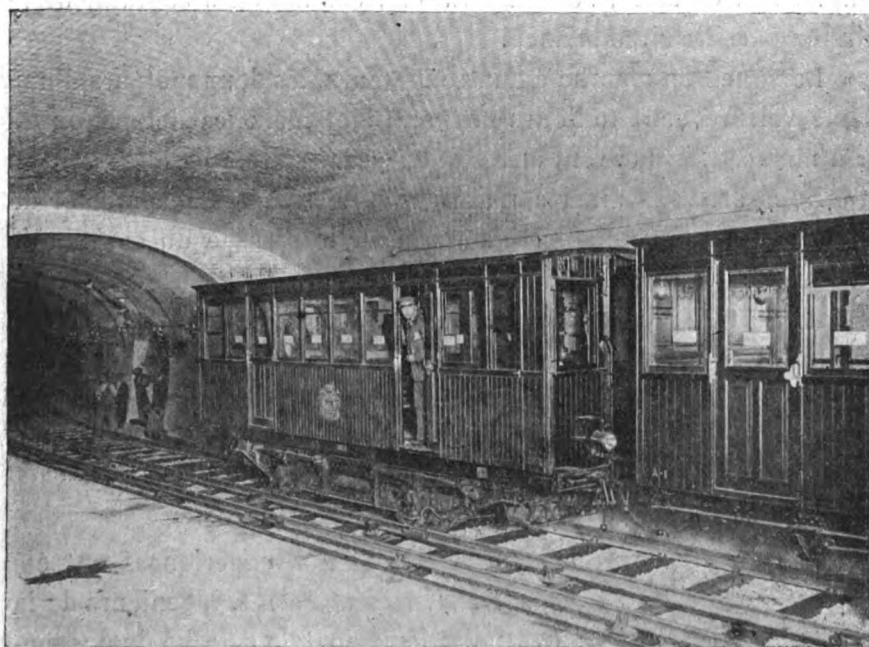


» Les bielles d'attaches ont, de plus, été réduites à deux, l'axe de celles-ci étant dans le plan vertical médian de la plaque de frottement parallèle à la voie. De cette façon, la plaque de frottement ne peut que se déplacer verticalement, et pivoter dans certaines limites autour d'un axe perpendiculaire à la voie.

» La plupart de nos premières motrices ne comportent qu'un seul contrôleur; quelques-unes d'entre elles en comportent deux, un à l'avant, l'autre à l'arrière; ce sont celles qui nous sont nécessaires pour l'exploitation actuelle des embranchements du Trocadero et de la Porte-Dauphine.

» Le trafic ayant été, dès le début, bien supérieur à celui que nous avions prévu, nous nous sommes aussitôt préoccupés d'augmenter la capacité de nos trains. Pour pouvoir satisfaire aux exigences de l'exploitation, nous étions amenés à envisager la possibilité d'avoir des unités de quatre voitures, dont une motrice et trois attelages, pouvant s'accoupler indistinctement entre elles, afin

Fig. 6.



d'avoir des rames de huit voitures (à l'heure actuelle, nous n'avons encore que sept voitures). Afin d'atteindre ce but, nous pouvions soit conserver le type de notre équipement électrique actuel en y adjoignant un système d'unité multiple du genre Sprague, soit modifier ce type en mettant sur chaque motrice des contrôleurs permettant d'actionner deux ou quatre moteurs.

» C'est à cette dernière solution, qui nous a été proposée par la Compagnie Thomson-Houston, que nous nous sommes arrêtés.

» Au contrôleur proprement dit sont joints deux appareils secondaires. L'un d'eux est un commutateur qui permet de marcher soit à deux, soit à quatre moteurs. L'autre est un inverseur qui assure la marche avant ou arrière, en permettant de changer le sens du courant dans les induits. Il se compose de deux solénoïdes actionnant un levier dont l'axe est situé entre eux deux, et portant des contacts à chacune de ses extrémités. Ce levier bascule entre des contacts fixes qui peuvent s'appuyer sur ceux du levier.

» Les solénoïdes sont actionnés par le courant de traction, à 550 volts, au moyen de la petite manette du contrôleur.

» Lorsque l'on marche à deux moteurs, ceux-ci peuvent être accouplés soit en série, soit en parallèle, comme on a coutume de le faire en pareille circonstance.

» Lorsque l'on marche à quatre moteurs, les deux moteurs d'une même voiture sont toujours en parallèle, mais les deux groupes d'un même train peuvent être soit en série, soit en parallèle.

» Nous arrivons ainsi à n'avoir que trois câbles à connecter de voiture à voiture : un, destiné à assurer le passage du courant de traction, les deux autres allant aux inverseurs.

» L'éclairage des trains est pris en dérivation sur le troisième rail, avant les appareils de sécurité.

» L'air comprimé nécessaire au freinage est produit par des compresseurs actionnés par des moteurs à courant continu à 550 volts, à enroulement série.

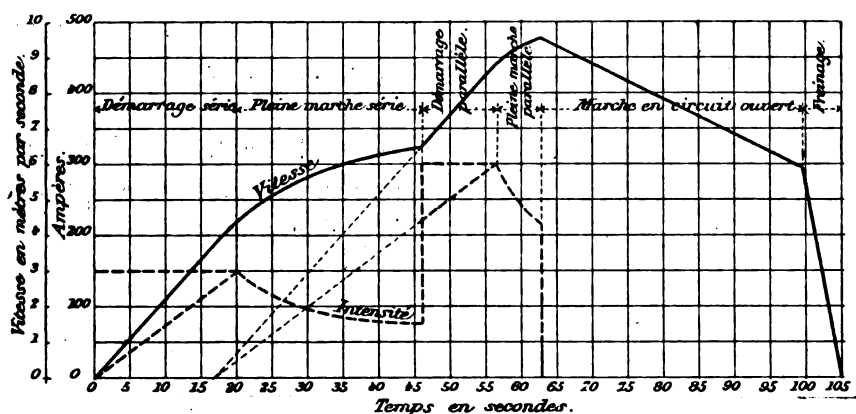
» *Dépense d'énergie aux voitures.* — Des expériences ont été faites le 7 décembre 1900 par MM. Mix et Perret, ingénieurs de la maison Postel-Vinay, pour étudier le régime de marche de nos moteurs. Elles sont résumées dans la courbe ci-après (*fig. 7*).

» Cette courbe se rapporte à un train de quatre voitures, dont une automotrice équipée à deux voitures Westinghouse de 100 chevaux chacune.

» Comme les résistances sont calculées pour absorber la moitié de l'énergie quand elles sont en circuit, on voit, d'après l'inspection de la courbe, que l'énergie perdue dans les résistances est d'environ

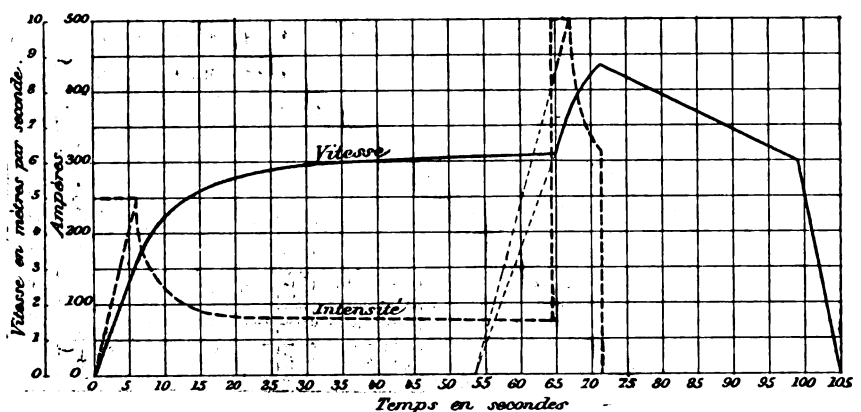
19 pour 100 de l'énergie totale dépensée. La dépense spécifique est de 49 watts-heure par tonne-kilomètre.

Fig. 7.



» Si l'on examine la courbe théorique représentée dans la figure 8, correspondant à une accélération beaucoup plus élevée que précédemment, soit 0,55 au lieu de 0,215, on trouve que l'énergie dissipée dans les résistances n'est plus que de 10 pour 100 de l'énergie

Fig. 8.



totale dépensée, et que la dépense spécifique n'est plus que de 44 watts-heure par tonne-kilomètre, soit 10 pour 100 environ de moins.

» Ceci, bien entendu, toutes choses égales d'ailleurs, moteurs, rapports d'engrenages, etc.

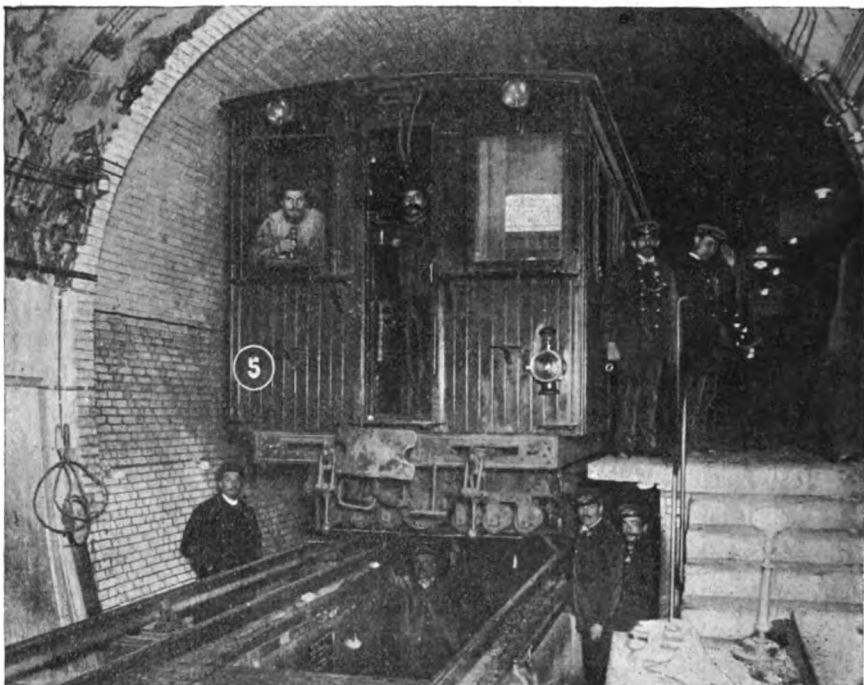
» Il résulte donc de cette étude que, pour un matériel donné, on a avantage :

» 1° A profiter d'une aussi grande accélération que possible, qui n'est limitée que par l'adhérence d'une part, et la puissance des moteurs d'autre part, et par conséquent à laisser les résistances en circuit le moins longtemps possible, ce régime comportant, bien entendu, un temps minimum ;

» 2° A laisser un certain temps s'écouler entre le démarrage série et le démarrage parallèle, pour permettre aux moteurs d'acquiescer une certaine vitesse pendant la pleine marche série.

» Ces conclusions nous sont déjà connues.

Fig. 9.



» Nous avons examiné rapidement le régime de marche de notre matériel; il est bien entendu que l'étude *a priori* d'un matériel de traction électrique est beaucoup plus complexe; nous ne nous y arrêterons pas, car cette étude sortirait du cadre de cette simple communication.

» Nous venons de voir que l'expérience précitée accusait une dépense de 49 watts-heure par tonne-kilomètre.

» Il était intéressant de vérifier cette consommation un an après. L'occasion s'en est présentée de la façon suivante : MM. Bérard et de Grièges, ingénieurs du matériel et de la traction, avaient l'intention de donner des primes aux wattmans sur la consommation de courant. A cet effet, ils ont procédé à des essais sur différents compteurs qui n'ont d'ailleurs pas donné, jusqu'à présent, de bons résultats. Pour contrôler les compteurs, ces ingénieurs avaient fait relever par M. Brocq des courbes, au moyen d'un ampèremètre enregistreur.

» Si l'on se reporte à des courbes prises sur des trains de 4, 5 et 7 voitures, et si l'on suppose le voltage moyen constant, on trouve que la dépense spécifique correspondant au tonnage moyen est précisément de 49 watts-heure par tonne-kilomètre. Cette dépense spécifique, d'ailleurs, diminue lorsque le tonnage des trains augmente.

» Si nous admettons donc cette dépense spécifique de 49 watts-heure par tonne-kilomètre, et si nous y ajoutons la dépense due à l'éclairage et à la marche des compresseurs, soit 3 watts-heure par tonne-kilomètre environ, nous arrivons, en chiffres ronds, à une consommation totale de 52 watts-heure par tonne-kilomètre.

» Ce chiffre est encore un peu élevé; mais ce n'est que par une longue pratique que nos wattmans pourront arriver à le réduire, puisque le régime de marche correspondant au minimum de dépense varie non seulement avec l'équipement électrique et le tonnage des trains, mais avec chaque parcours de station à station.

» Pour terminer ce qui a trait au matériel roulant, nous avons pensé qu'il pouvait être intéressant de reproduire une des courbes d'ampèremètre ci-dessus désignées. Celle que représente la figure 10 a été prise sur un train de 5 voitures pesant environ 60 tonnes, allant de Vincennes-départ à Maillot-arrivée.

» *Dépense d'énergie à l'usine.* — Si l'on cherche la consommation totale en courant continu du mois de décembre 1901, on trouve 1 047 568 kilowatts-heure, dont 901 812, soit 86,1 pour 100, pour la traction et 145 756, soit 13,9 pour 100, pour l'éclairage.

» La consommation correspondante en courant continu est alors de 3547 watts-heure par train-kilomètre, et de 61 watts-heure par tonne-kilomètre.

» D'après la consommation aux voitures trouvée ci-dessus, on aurait donc environ 14,7 pour 100 de perte en ligne. Cette perte est évidemment élevée, mais je crois qu'on peut l'attribuer à l'absence d'un assez grand nombre d'éclisses électriques à l'époque considérée. Des essais faits récemment ont accusé une perte en ligne d'environ 12 pour 100.

» *Signaux et téléphones.* — Les signaux du système « Hall » se composent, dans les chemins de fer, de trois éléments principaux :

» 1° Les signaux proprement dits, indiquant la voie libre ou fermée, suivant leur couleur;

» 2° Les relais actionnant les signaux par fermeture ou ouverture des circuits électriques;

» 3° Les piles fournissant l'énergie nécessaire.

» Sur une même voie, les deux rails servent de conducteurs, chacun d'eux étant respectivement connecté à un des pôles de la batterie des piles, d'une part, et à une des bornes du relais, d'autre part.

» Les rails étant sectionnés au moyen de joints isolants, un train de roue quelconque arrivant dans une section met la pile en court-circuit. Le relais tombe et le signal est actionné.

» Dans la cas du Métropolitain, cette solution présentait de nombreux inconvénients puisque les rails de roulement servent de retour au courant de traction.

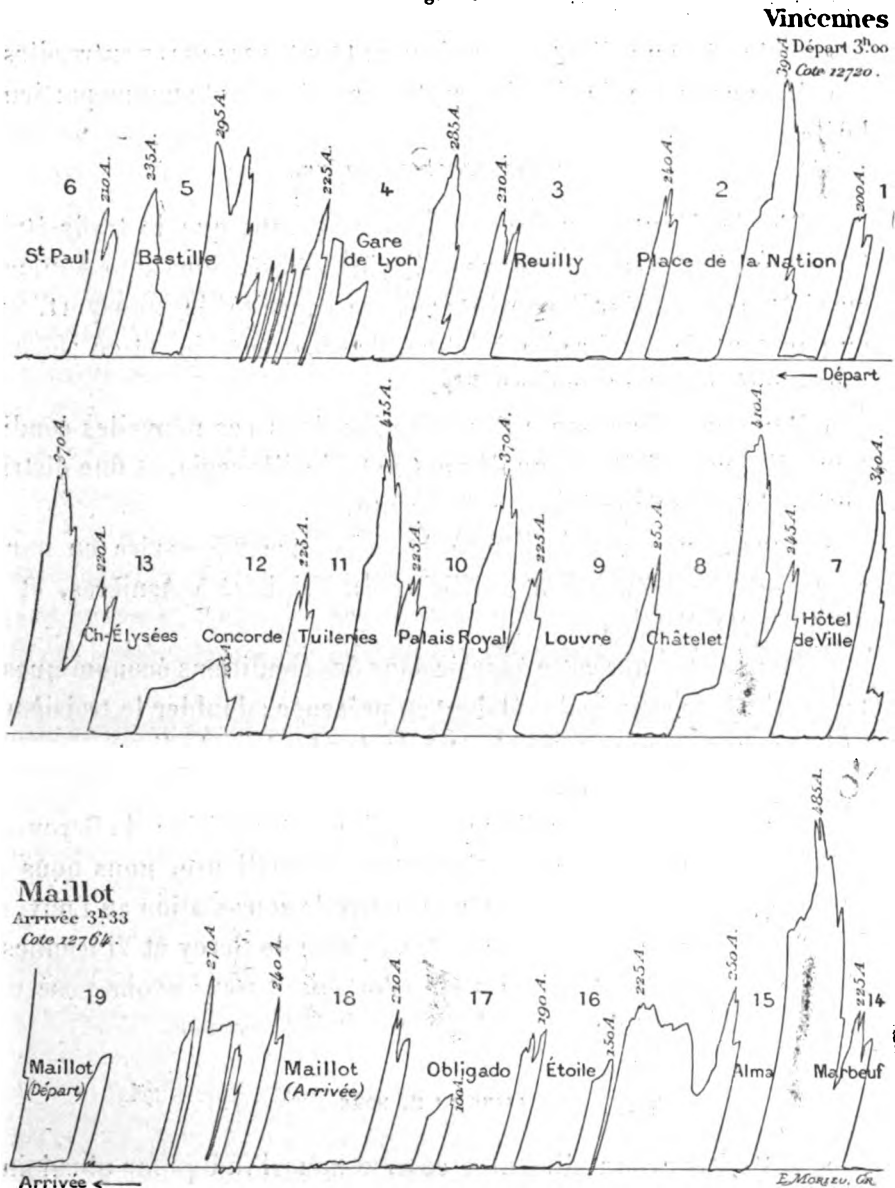
» La chute des relais a été alors obtenue au moyen de pédales actionnées par les bandages des roues, qui coupent momentanément le circuit des piles.

» Le principe d'exploitation de ces signaux est le suivant : lorsqu'un train passe sur la pédale d'un signal, il met celui-ci à l'arrêt, laisse à l'arrêt le précédent, et remet à voie libre l'anté-précédent. Tout train est donc protégé par deux signaux consécutifs à l'arrêt, dont l'intervalle constitue une section de bloc.

» Sans nous arrêter plus longtemps sur ce sujet, disons que, pendant l'année 1901, il y a eu, sur l'ensemble du réseau actuelle-

ment en exploitation, 11 200 000 (1) opérations de signaux sans un
 raté dû au système lui-même.

Fig. 10.



» Les installations téléphoniques se composent de deux réseaux
 principaux :

(1) Le chiffre de 24 000 000 annoncé en séance reposait sur un nombre de trains
 annuel erroné.

» 1° Le réseau reliant entre elles les gares principales, l'usine et les ateliers. Ce réseau est du système Dardeau, qui permet à deux postes quelconques de communiquer entre eux au moyen de relais polarisés, avec deux fils de ligne.

» 2° Le réseau reliant successivement toutes ces gares entre elles.

» Il se compose de simples postes ne présentant aucune particularité.

AUGMENTATION DU TRAFIC.

» Dès le début, nous nous sommes aperçus que le trafic était beaucoup plus intense que nous ne l'avions pensé. Nous nous sommes aussitôt préoccupés d'augmenter notre capacité de transport, en augmentant le nombre de voitures de chaque train, et en resserrant l'horaire autant que possible.

» Pour pouvoir assurer l'exploitation dans ces nouvelles conditions, il nous fallait un supplément notable d'énergie, et une distribution de cette énergie toute différente.

» Nous nous sommes assuré la puissance nécessaire en nous adressant momentanément à l'Usine du Triphasé à Asnières, et à celle des Moulineaux.

» Pour distribuer cette énergie dans des conditions économiques, trois solutions principales étaient en présence : doubler le troisième rail, en partie ou en totalité, établir des feeders de ligne, ou construire une sous-station.

» Pour la portion de ligne comprise entre l'Usine de Bercy et l'Étoile, cette dernière solution étant la meilleure, nous nous y sommes arrêtés en prévoyant une nouvelle sous-station au Louvre.

» Pour la partie comprise entre l'Usine de Bercy et Vincennes, c'est la seconde solution qui a été adoptée, et nous avons posé un feeder décroissant de 1000^{mm} sur 1600^m de longueur.

LIGNE N° 2, NORD.

» Cette ligne sera alimentée comme nous l'indiquons plus loin. Elle présente toutefois quelques particularités, relatives à la voie, qui ont leur intérêt.

» Le troisième rail, du même type que le rail de roulement, pesant 52^{kg} par mètre courant, est en acier doux.

» D'après les essais faits au Laboratoire central d'Électricité sur

des échantillons de cet acier, nous diminuerions la résistance totale de la voie de 20 pour 100 environ, en prenant comme terme de comparaison l'acier dur. C'est un chiffre appréciable pour la perte d'énergie dans les rails. Cela nous dispense aussi d'avoir des feeders de ligne.

» De plus, la composition chimique des échantillons de cet acier accuse des proportions de 0,15 de carbone et de 0,55 de manganèse, qui sont assez propices au point de vue de l'usure du métal.

» Les éclisses électriques du rail de roulement de la ligne n° 1 étaient rigides et subissaient les à-coups d'un joint mécanique appuyé, étant connectées directement de part et d'autre de la traverse de joint. Sur la ligne n° 2, ces éclisses seront souples et seront connectées de part et d'autre des traverses contre-joints, le joint étant en porte à faux. Nous espérons ainsi, non seulement permettre aux éclisses de supporter plus facilement les à-coups, mais éviter ces à-coups eux-mêmes, dans une large mesure.

» Enfin, les isolateurs du troisième rail permettront à celui-ci de se mouvoir librement, entre certaines limites bien entendu, dans tous les sens. Nous pourrions ainsi peut-être éviter la dislocation de ces isolateurs, en cas de déboufrage de la voie.

» *Distribution générale.* — Avant de terminer ce rapide exposé, nous allons résumer les projets actuels de distribution pour l'ensemble du réseau.

» Cette distribution aurait toujours pour principe la transformation du courant triphasé 5000 volts, 25 périodes, en courant continu 550 volts, dans des sous-stations placées aux endroits ci-dessous indiqués.

Emplacements approximatifs des sous-stations.

Louvre. — Sur le terre-plein de la place du Louvre.

Étoile. — Sur la place de l'Étoile.

Barbès. — Au coin du boulevard Barbès et du boulevard de la Chapelle.

Père-Lachaise. — Au coin du boulevard de Ménilmontant et de l'avenue de la République.

Montparnasse. — Au coin du boulevard Raspail et du boulevard Edgar-Quinet.

Opéra. — Place de l'Opéra.

République. — Place de la République.

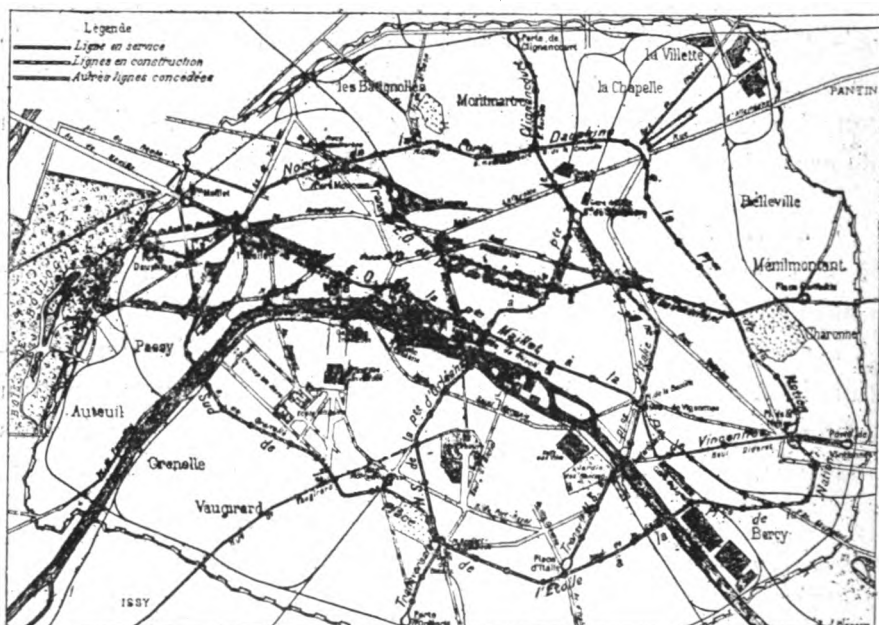
Buttes-Chaumont. — Dans la partie basse des Buttes-Chaumont.

Beau-Grenelle. — Place Beau-Grenelle.

» Les différentes lignes seraient alors alimentées comme suit :

Lignes.	Sous-Stations (y compris l'usine de Bercy).
<i>Ligne n° 1.</i> Vincennes-Maillot.	Usine de Bercy, Louvre, Étoile.
<i>Ligne n° 2 Nord.</i> Étoile-Nation, par les boulevards extérieurs Nord.	Étoile, Barbès, Père-Lachaise.
<i>Ligne n° 2 Sud.</i> Étoile-Nation, par les boulevards extérieurs Sud.	Étoile, Montparnasse, Usine de Bercy.
<i>Ligne n° 3.</i> Parc Monceau-Place Gambetta, par la rue Réaumur.	Opéra, République, Père-Lachaise.
<i>Ligne n° 4.</i> Porte Clignancourt-Porte d'Orléans (transversale Nord-Sud).	Barbès, Louvre, Montparnasse.
<i>Ligne n° 5.</i> Place d'Italie-Gare de l'Est.	Usines de Bercy, République.
<i>Ligne n° 6.</i> Palais-Royal-Place du Danube.	Opéra, Buttes-Chaumont.
<i>Ligne n° 7.</i> Opéra-Auteuil.	Opéra, Beau-Grenelle.

Fig. 11.



» Notre usine de Bercy alimenterait sa zone propre et les sous-stations Père-Lachaise, République et Montparnasse.

» Les autres sous-stations seraient alimentées soit par une ou plusieurs usines étrangères, soit par une nouvelle usine que nous construirions probablement dans la région nord-ouest de Paris.

» D'après les hypothèses actuelles, la puissance totale nécessaire, y compris les rechanges, serait de 30000 kilowatts triphasés.

» Tel est le projet actuel, qui sera peut-être profondément modifié par suite des progrès rapides et incessants de la traction électrique et en particulier par l'application directe des courants alternatifs à haute tension à ce mode de traction.

» Toutefois, nous pouvons dire qu'avec nos moyens actuels, qui sont encore restreints, nous avons pu transporter, pendant l'année 1901, 48478000 voyageurs, soit 3645000 par kilomètre. »

M. MARÉCHAL remarque qu'il y aurait un grand intérêt à récupérer l'énergie actuellement perdue dans les freinages.

M. le PRÉSIDENT remercie M. Détrouat d'avoir bien voulu, malgré ses occupations particulièrement assujettissantes, nous donner un très intéressant aperçu de l'exploitation électrique du chemin de fer métropolitain, aux travaux duquel il collabore depuis l'origine.

La séance est levée à 11^h 20^m soir.



CORRESPONDANCE.

Société anonyme des anciens ateliers de construction Van den Kerchove.

Gand, le 3 février 1902.

*Monsieur le Président de la Société internationale des Électriciens,
Paris.*

MONSIEUR,

Nous avons bien reçu votre aimable lettre du 6 janvier, qui nous a engagé à donner une forme plus complète à la modeste contribution que nous voulions apporter à vos intéressants travaux.

Nous vous adressons, avec la présente, une Communication composée de deux Notes ayant trait, l'une et l'autre, à la question de la régularité dans le tour.

Par le même courrier, nous vous envoyons également une épure, comme annexe à cette Communication, qui est une reproduction, complétée par les courbes de décalage, de celle que nous avons eu l'honneur de vous faire parvenir.

Nous ne manquerons pas, si nous pouvons vous envoyer quelques éléments intéressants sur la question des régulateurs, de vous les adresser prochainement.

Espérant que notre collaboration pourra vous être de quelque utilité, nous vous prions d'agréer, Monsieur le Président, l'assurance de notre considération distinguée.

L'Administrateur délégué,

A. VAN DER STEGEN.

APPENDICE.

I. — NOTE SUR LA DÉFINITION DU COEFFICIENT D'IRRÉGULARITÉ DANS LE TOUR.

Plusieurs Membres de la Société Internationale des Électriciens ont proposé, comme définition du coefficient d'irrégularité dans le tour, le plus grand écart de la vitesse de rotation, compté à partir de la vitesse moyenne et rapporté à celle-ci comme dénominateur.

Si l'on pouvait admettre, d'une façon générale, que la vitesse moyenne est la moyenne des vitesses extrêmes, ce coefficient serait exactement la moitié de celui qu'on avait généralement adopté jusqu'à présent.

Mais cela n'est vrai, d'une façon assez approximative, que pour les machines monocylindriques, dont le diagramme des efforts moteurs se rapproche d'une sinusoïde exacte.

Pour les machines à deux manivelles, aussi nombreuses, sinon plus, que les monocylindriques, il n'en est plus de même, et la vitesse moyenne s'écarte notablement de la moyenne des vitesses extrêmes. Il suffit de considérer l'épure jointe à la présente pour s'en rendre compte.

Dès lors on se trouve en présence de deux façons de comprendre ou d'interpréter la nouvelle définition proposée.

Ou bien il faudra comprendre le terme *vitesse moyenne* comme *moyenne des vitesses extrêmes*, et alors la nouvelle formule sera purement conventionnelle et prêterait à équivoque.

Ou bien il faudra considérer la vitesse moyenne réelle, mais, en ce cas, le coefficient nouveau ne sera plus, en général, la moitié du coefficient classique; il n'aura aucun rapport avec lui.

Or, comme dans les applications industrielles courantes, la différence des vitesses extrêmes est celle qui a le plus d'importance, il sera nécessaire de conserver l'ancien coefficient et de donner à la valeur $\frac{V_{\max} - V_{\text{moy}}}{V_{\text{moy}}}$ une appellation spéciale.

A notre avis, d'ailleurs, l'opportunité d'une nouvelle définition est très contestable.

Outre qu'il y a toujours un inconvénient à modifier une convention existante et qu'il ne peut en résulter que des équivoques, nous venons de voir que la nouvelle définition proposée, ou bien n'a qu'une signification purement fictive, ou bien ne remplace pas l'ancienne et doit être éventuellement admise comme un élément nouveau à côté du coefficient classique.

Mais cette nouvelle forme du coefficient d'irrégularité aurait-elle quelque utilité au point de vue de l'étude des alternateurs? Nous ne le croyons pas.

M. Boucherot a, il est vrai, dans son intéressante étude, cherché à déterminer le décalage en fonction de l'écart de la vitesse par rapport à la vitesse moyenne, mais, comme il le déclare lui-même, sa méthode analytique n'est applicable que dans des cas très particuliers, et la détermination graphique par intégration est si simple et si commode que le constructeur n'hésitera jamais à l'employer de préférence, et dans tous les cas.

Ce n'est donc pas pour déterminer le décalage plus facilement, ni même plus naturellement, que la modification serait désirable.

Le plus grand écart de la vitesse, compté à partir de la vitesse moyenne, dans le cas général où celle-ci n'est pas la moyenne des vitesses extrêmes, n'a pas d'intérêt : de plus, si, en certains cas, cet élément devait être considéré, il faudrait ne pas le substituer au coefficient d'irrégularité classique et l'appeler d'un terme spécial (*accélération maximum* ou *ralentissement maximum*) de façon à ne pas le confondre avec lui.

Passons aux déplacements angulaires relatifs ou décalages.

Pour définir ces éléments, il ne nous paraît pas rationnel non plus d'admettre que le décalage est la moitié de l'amplitude totale de l'oscillation angulaire relative, parce que, en général, dans les cas les plus nombreux, l'oscillation ne suivra pas une loi se rapprochant d'une sinusoïde, même d'une façon approximative, et les décalages positifs et négatifs ne seront pas égaux et de signes contraires.

La question cependant n'est pas aussi simple que pour le diagramme des vitesses, car la vitesse moyenne est facile à déterminer, tandis que la position moyenne d'un alternateur animé d'oscillations relatives, par suite de l'irrégularité dans le tour, n'est pas fixée *a priori*.

Au point de vue purement mécanique, cette position moyenne est conventionnelle, car on peut faire confondre la manivelle idéale du mouvement uniforme avec la manivelle réelle à n'importe quel moment, voire même la fixer arbitrairement d'une façon quelconque.

Mais, si l'on considère un alternateur branché sur un réseau, cette position moyenne n'est plus indéterminée, car il est certain que, si l'on pouvait brusquement donner au couple moteur une valeur moyenne et constante, l'alternateur se calerait sous un angle bien défini par rapport aux oscillations dont il était animé avant que le mouvement uniforme fût réalisé ; ce sera la position d'équilibre magnétique.

Le constructeur peut-il déterminer cette position moyenne simplement et directement en donnant ainsi une base de repère au diagramme des décalages qu'il aura tracé ?

Nous pensons qu'il le peut, du moins avec une certaine approximation.

La base de ce diagramme doit être, nous semble-t-il, la droite coupant la courbe des oscillations de façon à laisser de part et d'autre des surfaces positives et négatives équivalentes.

Pour aboutir à cette façon de procéder, il faut assimiler l'action des couples synchronisants à celle de ressorts dont les flèches seraient proportionnelles aux décalages, l'alternateur étant supposé branché sur un réseau infini.

Cette manière de déterminer la base nous paraît rationnelle, et sinon conforme exactement à la vérité, du moins s'en approchant beaucoup plus que celle qui consiste à prendre, comme position moyenne, le milieu de l'arc décrit par la manivelle dans son mouvement d'oscillation relative.

Il y aurait donc lieu de distinguer, comme pour le diagramme des vitesses, l'amplitude totale de l'oscillation relative et le décalage maximum mesuré à partir de la base ou position d'équilibre.

La première est à considérer notamment dans le cas de deux alternateurs en parallèle, car alors il s'agit d'un décalage relatif, tandis que le *décalage maximum*, d'une façon absolue, se produira lorsque l'alternateur sera branché sur un réseau infini.

II. — DE L'IRRÉGULARITÉ DANS LE TOUR DES MACHINES A DEUX MANIVELLES.

Les machines à plusieurs manivelles ont sur les monocylindriques un avantage évident *a priori* au point de vue de la régularité dans le tour.

Mais, par le fait même que les variations du couple moteur sont moins accentuées et qu'elles suivent une loi moins régulière, les perturbations parasites sont, relativement, beaucoup plus importantes.

Telles sont celles que produisent l'obliquité des bielles et l'action des masses non équilibrées intervenant par leur pesanteur.

L'épure que nous joignons à cette communication en montre un exemple; c'est celle qui a servi à la détermination de la régularité dans le tour des machines de 2000 chevaux composées de compounds tandems jumellées, destinées à la nouvelle station centrale des Tramways bruxellois.

Les manivelles sont calées à 90° ; remarquons, à ce propos, que cet angle, qui était généralement adopté autrefois pour toutes les machines à deux manivelles et à double effet, n'est pas forcément l'angle le plus favorable au point de vue de la régularité dans le tour. Dès que les couples moteurs transmis aux deux manivelles ne suivent pas une loi identique, il faut, par une suite de tâtonnements, rechercher l'angle de calage qui assure la meilleure régularité et le décalage le plus réduit aux différentes charges.

Pour les machines compounds à deux cylindres et deux manivelles, cet angle est d'environ 110° ; mais il varie plus ou moins, d'après les proportions des cylindres et les conditions de marche.

L'avantage des tandems doubles est d'avoir des actions motrices toujours égales sur les deux manivelles, quelle que soit la charge.

L'épure est tracée pour la puissance normale; le diagramme des efforts moteurs, ceux des vitesses et des décalages montrent fort bien l'influence de l'obliquité des bielles qui imprime à l'allure des courbes, en dehors des fluctuations secondaires, une oscillation unique et globale par tour qui devient très prononcée et très intéressante lorsqu'on considère les décalages.

Ces diagrammes ont été tracés dans trois hypothèses.

Nous avons d'abord adopté comme effort résistant une droite, c'est-à-dire que nous n'avons pas tenu compte de l'action des poids; en d'autres termes, nous les avons supposés équilibrés; cette hypothèse correspond au premier diagramme des vitesses et des décalages.

Le second cas est celui où les pièces agissant par leur pesanteur (les manivelles et, partiellement, les bielles) ne sont pas équilibrées.

Comme on le voit, la régularité est meilleure dans ces conditions.

Enfin, nous avons tracé comme troisième diagramme de l'effort résistant une sinusoïde plus accentuée encore, qui donne des résultats aussi satisfaisants que possible.

Pour le réaliser, il faudrait placer, à la jante du volant, une masse dont le poids

ne dépasserait pas 300^{kg}, ce qui n'a rien d'excessif pour un volant de 40 tonnes comme celui d'après lequel l'épure a été tracée.

On peut voir par cet exemple combien l'influence perturbatrice de l'obliquité des bielles devient sérieuse pour les machines à deux manivelles et comment on peut la combattre efficacement en disposant convenablement un contrepoids dans le volant.

Par une circonstance heureuse, le poids propre des pièces produit un effet contraire à celui de l'obliquité des bielles, de sorte que, contrairement à ce qu'on avait souvent supposé, c'est une erreur de contre-balancer les manivelles *au point de vue de la régularité*.

Mais il ne faut pas perdre de vue que cela n'est vrai que pour les machines tournant à l'endroit et que, si la rotation était inverse, ce serait le contraire; il faudrait, en ce cas, placer un contrepoids qui non seulement équilibrerait les manivelles et les bielles, mais qui devrait peser bien davantage.

Enfin, l'effort des pompes à air qui souvent sont attelées aux boutons de manivelles doit être également pris en considération, et leur disposition plus ou moins heureuse peut contribuer efficacement à accentuer la régularité, ou tout au moins à ne pas la compromettre.

Pour les machines monocylindriques, on peut arriver à des conclusions analogues, mais l'influence perturbatrice des obliquités et des poids est beaucoup moins sensible.

Il existe un autre moyen d'agir sur le diagramme des efforts moteurs, c'est de donner des admissions inégales aux deux côtés des cylindres; mais, bien entendu, ce moyen ne peut être appliqué que dans certaines limites et est toujours nuisible au point de vue du travail économique de la vapeur.

L'Administrateur délégué
de la Société des anciens établissements
Van den Kerchove,
ALFRED VAN DER STEGEN.

PÉRIODIQUES ÉTRANGERS.

MÉMOIRES ORIGINAUX.

ALLEMAGNE.

Elektrotechnische Zeitschrift.

2/1. — Élasticité des canalisations pour courants polyphasés; *J. Teichmüller*. — Station de Rheydt-Gladbach; *H. Leisse*. — Mesure de la résistance de dynamos à courant continu; *A. Wettler*.

9/1. — Détermination des constantes de la fonction magnétisante; *E. Mullendorff*. — Premiers résultats d'expérience sur le moteur asynchrone compensé; *A. Heyland*.

16/1. — Hystérésis tournante; *A. Dina*. — Générateur pour traction de l'A. E. G.; *Niethammer*. — Saturation la plus économique pour générateurs polyphasés; *E. Korrodi*. — Sur l'économie des interrupteurs de transformateurs sur la haute tension; *E. Geist*.

23/1. — Oscillations des machines en parallèle; *A. Föppl*. — Contrôleur simplifié pour triphasé; *E. Klein*. — Calcul du nombre et de la valeur des résistances de réglage; *R. Krause*.

30/1. — Courbe élastique des moteurs d'induction de grands diamètres; *H. Lindemann*. — Quelques installations de télégraphie sans fil de l'A. E. G.; *Comte Arco*. — Appareils de protection pour tramways; *M. Kosch*.

Central Blatt für Accumulatoren und Elementenkunde.

1/1. — Les accumulateurs à l'Exposition de Buffalo; *G. Rabenhalt*. — Récupération de l'énergie de freinage dans les accumobiles; *W. Müller*.

15/1. — Les accumulateurs... (*fin*); *G. Rabenhalt*.

1/2. — Accumulateurs à plaques légères et non conductrices; *A. Ricks*. — Récupération... (*suite*); *W. Müller*.

AMÉRIQUE.

Electrical World and Engineer.

28/12. — Éclairage et railway de Staten Island; *M. Loewenthal*. — Alternateurs avec amortisseurs; *J. Fischer-Hinnen*. — Construction et exploitation des téléphones (*suite*); *A. Abbott*.

4/1. — Construction... (*suite*); *A. Abbott*. — Station Waterside, à New-York.

11/1. — Station Waterside... (*suite*). — Équipement de l'Elevated de Manhattan. — Essais complets de moteurs avec un wattmètre et un voltmètre; *A. Mc. Allister*.

18/1. — Station Waterside... (*suite*). — Équipement... (*suite*). — Stéréoscopie par les rayons Röntgen; *F. Perrine*.

Transactions of the American Institute of Electrical Engineers.

DÉCEMBRE 1901. — Le moteur d'induction et la commutatrice; *C. Scott*. — Contrôle des installations de grande puissance à haute tension; *E. Rice*. — Éclairage des rues et unités de lumière; *W. Ryan*. — La lampe à incandescence actuelle; *J. Howell*. — Note sur la flamme de l'acétylène dans l'oxygène; *C. Sharp*. — État actuel de l'étalon de lumière; *C. Sharp*. — Lampes à gaz électriques; *P. Cooper Hewitt*.

ANGLETERRE.

The Electrician.

3/1. — Principes et profits dans la distribution de l'électricité; *W. Esson*. — L'industrie électrochimique et électrométallurgique en 1901; *J. Kershaw*.

10/1. — Courants polyphasés... (*suite*); *C. Eborall*. — L'industrie... (*fin*); *J. Kershaw*.

17/1. — Forme des ondes de force électromotrice dans les systèmes triphasés; *A. Russell*.

24/1. — Courants polyphasés... (*suite*); *C. Eborall*. — Matériel des tramways et son entretien; *W. Wigran*. — Courants terrestres dérivés; *B. Wedmore*. — Notes pratiques sur les distributeurs de courant continu; *J. Ward*.

31/1. — City and South-Railway... (*suite*). — Courants... (*fin*); *B. Wedmore*. — Notes pratiques... (*suite*); *J. Ward*.

The Electrical Review.

3/1. — Distribution triphasée pour force motrice et lumière; *S. Woodfield*. — Essais et usage des moteurs électriques; *P. White*. — Machines-outils à l'Exposition de Glasgow... (*suite*); *F. Bathurst*.

10/1. — Pompes alimentaires électriques; *A. Johnston*. — Commutation sans étincelles avec balais fixes; *C. Hill*. — Effets destructeurs et mortels... (*suite*); *M. Cleaves*. — Notes sur les diagrammes de courants alternatifs; *W. Sumpner*.

17/1. — Procédé Corbin pour la fabrication des chlorates; *J. Kershaw*. — Méthode pour éliminer les corrections dans les essais de câbles; *H. Savage*. — Machines-outils... (*suite*); *F. Bathurst*. — Notes sur l'industrie des câbles en Allemagne; *M. O'Gorman*.

24/1. — Méthode pour éliminer... (*fin*); *H. Savage*.

31/1. — Machines-outils... (*fin*); *F. Bathurst*.

AUTRICHE.

Zeitschrift für Electrotechnik.

5/1. — Exposition de Buffalo; *A. Hruschka*. — Municipalisation des tramways de Vienne; *H. Schreiber*.

12/1. — Exposition de Buffalo... (*fin*); *A. Hruschka*.

19/1. — Calcul des alternateurs; *Fischer Hinnen*.

26/1. — Calcul des alternateurs... (*fin*); *Fischer Hinnen*. — Station de Gmünd; *E. v. Rizha*.



BIBLIOGRAPHIE.

Recherches expérimentales sur les oscillations électriques d'ordre supérieur, par M. MARCEL LAMOTTE, Agrégé des Sciences Physiques, Préparateur au Laboratoire d'Enseignement physique, à la Sorbonne. Gauthier-Villars, éditeur; Paris, 1901.

La théorie des oscillations électriques a été créée en 1853, par lord Kelvin et par Kirchhoff.

Le Travail de l'Auteur constitue sa thèse de doctorat et présente des particularités intéressantes. Ces recherches offraient des difficultés expérimentales ingénieusement surmontées.

M. Lamotte a réussi à démontrer que, dans un excitateur, les ondes sont de périodes différentes et forment une série harmonique d'autant plus complète que le circuit vibrant est plus long.

Si ce circuit est fermé, la série harmonique contient les ondes de fréquences paires et impaires.

On ne rencontre que ces dernières si le circuit est ouvert, sa capacité étant faible.

Ces résultats augmentent le champ de nos connaissances sur les phénomènes si complexes des oscillations électriques.

Recherches expérimentales sur l'électrodynamique des corps en mouvement.

Thèse de doctorat soutenue à la Sorbonne par M. VICTOR CRÉMIEU, Ingénieur agricole. Gauthier-Villars, éditeur; Paris, 1901.

Voici les conclusions, tirées par l'Auteur, des expériences si délicates qu'il relate dans son Travail :

« Un corps électrisé, placé dans une région qui est le siège de variations magnétiques, n'est soumis à aucune force pondéro-motrice. »

« Un disque, tournant dans des conditions telles qu'on est sûr qu'il entraîne avec lui toute charge électrique qu'on lui communique, ne donne pas, quand on fait varier cette charge, les effets d'induction que donnerait un courant de conduction transportant des quantités d'électricité égales et soumis à des variations du même ordre. »

« Ce même disque tournant, chargé d'une manière constante, ne produit pas le champ magnétique d'un courant de conduction transportant la même quantité d'électricité. »

Theoretical Elements of Electrical Engineering, par CHARLES PROTEUS STEINMETZ.
— New-York : *Electrical World and Engineers*. 1 vol. relié toile.

Cet Ouvrage, d'après l'auteur même, peut se diviser en deux Parties dont la première peut être considérée, à certains égards, comme une introduction à son Travail sur la Théorie et le calcul des phénomènes à courant alternatif (*Theory and calculation of alternating current phenomena*). Alors que dans ce dernier Traité M. Steinmetz passe graduellement de la représentation mathématique ordinaire des fonctions sinusoïdales à la représentation graphique en coordonnées polaires, puis à la forme vectorielle et enfin à la notation symbolique, le présent Ouvrage couvre un sujet plus général en exposant les principes fondamentaux du courant continu et des courants alternatifs.

La deuxième Partie complète l'Ouvrage *Alternating current phenomena*, en discutant particulièrement les dispositions spéciales aux appareils.

La première Partie comprend 18 Chapitres par lesquels le lecteur passe des notions les plus élémentaires du champ magnétique aux phénomènes de self-induction dus aux courants alternatifs comme au courant continu, puis aux conditions de fonctionnement des lignes, à leur réglage et à la détermination des sinusoïdes équivalentes aux courbes quelconques représentatives de la force électromotrice et du courant en vue de la détermination du facteur de puissance.

Chaque Chapitre se complète par des exemples numériques très variés et nombreux qui facilitent grandement la compréhension des notions théoriques et des solutions graphiques exposées.

La seconde Partie est moins théorique. Elle comporte quatre divisions principales : les machines synchrones, les machines commutatrices en général, les convertisseurs synchrones et les machines d'induction.

Les propriétés spéciales à chacune de ces classes de machines sont analysées successivement dans des Chapitres nombreux très heureusement divisés. Quelques-uns, présentant le caractère d'un traitement tout à fait nouveau, méritent de retenir spécialement l'attention. Nous citerons surtout ceux qui ont trait aux machines commutatrices ; l'auteur s'y attache à montrer le rôle et l'effet important de la distribution du flux, des dentures et de la réaction d'armature.

Les différents types de machines sont décrits à un point de vue général et dans le style large et clair auquel l'auteur a accoutumé depuis longtemps le monde des électriciens.

Courants polyphasés et alternomoteurs, par SYLVANUS-P. THOMPSON, Directeur du Collège technique de Finsbury, à Londres. — Traduction par E. BOISTEL, ingénieur-expert près les Cours et Tribunaux. *Deuxième édition*. Librairie polytechnique, Ch. Béranger, éditeur.

La première édition française de cet Ouvrage datait de 1896. A cette époque les théories comme la pratique des courants polyphasés n'étaient pas aussi nettement établies qu'aujourd'hui. L'opportunité de la publication a été péremptoirement démontrée par les faits ; la nécessité d'une deuxième édition le prouve.

En 1896, l'Ouvrage du professeur Sylvanus-P. Thomson devait forcément se renfermer dans un cadre limité, insuffisant à l'heure actuelle. La deuxième édition a donc tout le caractère d'une publication absolument nouvelle. Tous les Chapitres ont été remaniés et complétés. Si le côté théorique ne présente pas, à proprement parler, d'innovations et conserve les divisions habituelles : généralités, combinaisons des circuits et économie de cuivre, le côté pratique a reçu des développements importants.

La plupart des types actuels de générateurs et transformateurs sont amplement étudiés, tant au point de vue de la structure que des dimensions; la question des enroulements a été l'objet d'une étude très approfondie et nouvelle.

Le Chapitre qui traite de la distribution n'est pas des moins intéressants; un grand nombre de stations centrales sont l'objet de descriptions étendues.

La traction électrique par courants polyphasés est l'objet d'un court Chapitre.

Par une heureuse pensée, l'auteur a témoigné de sa sympathique admiration pour l'œuvre de M. Maurice Leblanc en adjoignant à son Travail, sous forme d'Appendice, une analyse sommaire des remarquables Travaux de l'éminent ingénieur.

Suivant une méthode qui semble devoir se généraliser et susceptible de faciliter les recherches du lecteur studieux, la bibliographie est répartie entre les divers Chapitres. Il est permis de reconnaître, à ce détail, le soin particulier et la part de clarté dont l'auteur principal et les lecteurs sont redevables au traducteur de cette intéressante monographie.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

France.

- Année (l') électrique, électrothérapique et radiographique.* Revue annuelle des progrès électriques en 1901; par le Dr FOVEAU DE COURMELLES. 2^e année. Paris, Ch. Béranger, 1902; 1 vol. in-12 broché. (*Don de l'Éditeur.*)
- Convention (la) du mètre et le Bureau international des Poids et Mesures,* par CH.-ED. GUILLAUME, Directeur adjoint du Bureau international des Poids et Mesures. Paris, Gauthier-Villars, 1902; 1 vol. grand in-4^o broché (avec 88 figures). (*Don de l'Auteur.*)
- Électricité (l') à l'Exposition de 1900. 4^e fascicule, Transformation de l'énergie électrique.* — I. Transformateurs instantanés ou immédiats, par E. HOSPITALIER. — II. Transformateurs différés ou accumulateurs, par A. BAINVILLE. Paris, V^ee Ch. Dunod, 1902; 1 fascicule in-4^o (avec figures). (*Don de l'Éditeur.*)
- Installations d'éclairage électrique.* Manuel pratique; par ÉMILE PIAZZOLI. Cinquième édition refaite, contenant 264 gravures, 90 Tableaux et 2 Tables. Traduit de l'italien par GENNARO CUCURELLO et EM. AM. DELLA SANTA. Paris, Ch. Béranger, 1902; 1 vol. in-8^o relié toile. (*Don de l'Éditeur.*)
- Recherches sur les forces motrices d'aimantation;* par M. RENÉ PAILLOT. — Lille, imprimerie L. Danel, 1901; 1 vol. in-8^o broché (avec 18 figures). (*Don de l'Auteur.*)
- Tramways (les) électriques,* par HENRI MARÉCHAL. Deuxième édition entièrement refondue. Paris, Ch. Béranger, 1902; 1 vol. in-8^o relié toile (avec 188 figures dans le texte). (*Don de l'Éditeur.*)

Étranger.

- De Werking van den inductieklos in de telefoontoestellen,* par J.-W. GILTAY. 2 brochures grand in-8^o, 1901-1902. (*Publications de l'Académie royale des Sciences d'Amsterdam.*) (*Don de l'Auteur.*)

I Motori polifasici asincroni sistema Boucherot e loro trasformatori di avviamento, per ARNALDO LURASCHI. Milano, G. Abbiati, 1901; brochure in-8° de 29 pages (avec 16 figures). (*Don de l'Auteur.*)

Practical calculation of dynamo-electric Machines... continuous current machinery, by ALFRED E. WIENER, E. E. M. E., M. A. I. E. E. Second edition, revised and enlarged. New-York, *Electrical World and Engineer*, 1902; 1 vol. in-8° relié toile (avec nombreuses figures). (*Don des Éditeurs.*)



BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Candidats pour le renouvellement partiel du Comité d'administration, p. 171. — Rapport sur les travaux de la 6^e Commission (M. **Armagnat**), p. 172. — Les phénomènes électriques aux basses températures (M. le Dr **d'Arsonval**), p. 177. — Note sur les essais des câbles électriques (M. **P. Charpentier**), p. 204. — *Canalisations souterraines* : Lettre au sujet d'une Communication de M. Picou au mois de février dernier (M. **Alfred Gay**), p. 235. — Note au sujet de la détermination des portées des lignes aériennes (M. **Loppé**), p. 237.

CORRESPONDANCE, p. 242.

LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ : Essai des câbles et des isolateurs à haute tension, p. 245.

PÉRIODIQUES ÉTRANGERS, p. 246.

BIBLIOGRAPHIE, p. 249.

OUVRAGES OFFERTS, p. 253.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 5 mars 1902 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. A. HILLAIRET.

La séance est ouverte à 8^h 35^m soir.

Le procès-verbal de la réunion mensuelle du 5 février est adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Bibliothèque et des demandes d'admission suivantes :

(¹) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

- Bisserié** (Frédéric), Docteur, 13, rue Montaigne, à Paris. — Présenté par MM. Bra-
chet et Bourdain.
- Borel** (Hermann-Henry), Ingénieur de la Société anonyme Westinghouse, 71, rue de
Chaillot, à Paris. — Présenté par MM. Houdard et Charlet.
- Brulé** (Henri-Victor), Constructeur-Mécanicien, Gérant de la Société Brulé et C^{ie},
31, rue Boïnod, à Paris. — Présenté par MM. Harlé et Desrozières.
- Charpentier**, Ingénieur électricien à la Société alsacienne de constructions mécaniques,
25, rue de l'Hôpital, à Belfort. — Présenté par MM. Janet et Blondin.
- Delhumeau**, Sous-Inspecteur à la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest, 15, rue
de la Fédération, à Paris. — Présenté par MM. Pataud et Vinson.
- Dosme** (Fernand de), 11, rue d'Enghien, à Paris. — Présenté par MM. Lorin et Gros-
selin.
- Dupont** (Georges), 104, rue d'Amsterdam, à Paris. — Présenté par MM. Lorin et
Grosselin.
- Fay**, Inspecteur à la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest, 44, rue de Rome,
à Paris. — Présenté par MM. Pataud et Vinson.
- Lelong** (Robert), Ingénieur principal du Génie maritime, Professeur à l'École d'Appli-
cation du Génie maritime, 20, rue de Tournon à Paris. — Présenté par MM. Pol-
lard et Maugas.
- Thorel** (Charles-Nicolas), Élève à l'École supérieure d'Électricité, Ingénieur des Arts
et Manufactures, 6, villa du Bel-Air, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société interna-
tionale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT invite les Sociétaires en possession d'obligations
à coupons échus à vouloir bien faire encaisser ces intérêts dans le
plus bref délai possible.

M. le Président informe les membres que, en raison de l'Exposition
annuelle de la Société de Physique dans les Salles de la Société
d'Encouragement, l'Assemblée générale annuelle et la prochaine
Réunion mensuelle auront lieu le 9 avril au lieu du premier mer-
credi dudit mois.

Conformément à l'art. 14 du règlement intérieur, il est donné
connaissance de la liste ci-après des candidats que le Comité
propose aux suffrages de l'Assemblée générale d'avril, pour le
renouvellement partiel des membres du Bureau et du Comité
d'administration.

PRÉSIDENT

pour l'exercice 1903-1904 :

MM.

Hospitalier (Ed.), Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris.

VICE-PRÉSIDENTS :

Brillouin (Marcel), Professeur au Collège de France.

Desroziers (E.), Ingénieur-Électricien.

TRÉSORIER :

Violet (L.), Ingénieur, Directeur des Ateliers J. Carpentier.

SECRÉTAIRES :

Bourguignon (P.), Sous-Chef de travaux à l'École supérieure d'Électricité.

Durand (A.), Chef de travaux au Laboratoire central d'Électricité.

MEMBRES :

Arnoux (R.), Ingénieur-Constructeur.

Blondel (A.), Professeur à l'École nationale des Ponts et Chaussées.

Blondin (J.), Professeur au Collège Rollin.

Boucherot (P.), Ingénieur-Conseil.

Boulanger (J.), Chef de bataillon du Génie.

Brunswick (E.), Ingénieur des Arts et Manufactures.

Brylinski (E.), Sous-Directeur du *Triphasé*.

Chauvat (H.), Sous-Directeur de l'École supérieure d'Électricité.

Chevrier (L.), Directeur de l'Usine centrale du *Secteur électrique de la Rive gauche*.

Cornu (M.), Membre de l'Institut.

Détroyat (J.), Ingénieur adjoint au Directeur du *Chemin de fer métropolitain*.

Guillaume (Ch.-Ed.), Directeur adjoint du Bureau international des Poids et Mesures.

Mazen (A.), Ingénieur des Services électriques des Chemins de fer de l'Ouest.

Pirani (E.), Ingénieur principal de la *Société alsacienne de constructions mécaniques*.

Raveau (C.), Préparateur à la Sorbonne.

Romilly (De), ancien Président de la Société française de Physique.

Villard (P.), Professeur suppléant au Conservatoire des Arts et Métiers.

COMMISSION DES COMPTES POUR 1902 :

Guilbert (C.), Ingénieur-Électricien.

Meyer (F.), Directeur de la *Compagnie continentale Edison*.

Sartiaux (Eug.), Ingénieur, Chef des Services électriques au Chemin de fer du Nord.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

RAPPORT SUR LES TRAVAUX DE LA SIXIÈME COMMISSION.

LES ESSAIS MAGNÉTIQUES DES FERS DANS L'INDUSTRIE.

M. ARMAGNAT. — Les essais magnétiques des fers n'ont pas encore pris dans l'industrie la place importante qui devrait leur être réservée, étant donné le rôle considérable de ce métal, sous ses différentes formes, dans la construction de tous les appareils électriques.

» Alors que la conductibilité des cuivres, qui varie aujourd'hui dans des limites assez étroites, est l'objet d'une surveillance constante, la perméabilité du fer et la perte d'énergie causée par l'hystérésis sont rarement l'objet d'un essai sérieux, bien que ces grandeurs diffèrent beaucoup d'un échantillon à l'autre.

» Les causes de cette différence de traitement sont connues : d'une part, le calcul des éléments magnétiques des machines ne peut actuellement se faire que par des méthodes d'approximation, tandis que les calculs relatifs au rôle du cuivre sont directs et faciles; d'autre part, et c'est là surtout que réside la cause de l'indifférence apparente pour ces essais, les méthodes et les appareils de mesures magnétiques sont peu connus et beaucoup d'industriels les considèrent comme exclusivement destinés aux laboratoires.

» A côté des méthodes relativement précises, qui ont été et sont encore employées lorsqu'on dispose d'un laboratoire bien outillé, sont venus, depuis quelques années, se placer des instruments d'un caractère plus industriel, destinés à faciliter la mesure des propriétés magnétiques et permettant de répéter ces mesures aussi souvent qu'il est nécessaire.

» Il faut reconnaître que les industriels qui ont eu l'initiative d'employer ces instruments se sont trouvés en présence de résultats bien faits pour détruire leur confiance, le manque de concordance entre ces divers appareils rendant les comparaisons très difficiles. C'est sur les anomalies de ces instruments, sur l'interprétation des résultats qu'ils fournissent, sur les services qu'ils ont déjà rendus et ceux qu'ils sont appelés à rendre, que la sixième Commission veut appeler votre attention.

» Si tous ceux qui ont étudié pratiquement ces questions veulent bien nous apporter le concours de leur expérience, il pourra sortir de la discussion des moyens d'essai plus uniformes et plus concordants, qui permettront des progrès dans la métallurgie et dans l'emploi du fer et de ses dérivés.

» Industriellement, les propriétés magnétiques d'un fer sont déterminées quand on connaît, d'une part, l'induction $\mathfrak{B}$, ou la perméabilité μ , pour différentes valeurs de la force magnétisante $\mathfrak{H}$, et, d'autre part, la perte d'énergie causée par l'hystérésis. Selon les applications, on peut avoir besoin de connaître l'une ou l'autre de ces propriétés, ou les deux.

» La méthode balistique, appliquée à un barreau droit de très grande longueur, ou à un anneau, est la seule méthode exacte d'un emploi facile, car la méthode du magnétomètre exige des conditions que l'on ne rencontre jamais dans l'industrie.

» Par la méthode balistique, on obtient la valeur de $\mathfrak{B}$ en fonction de $\mathfrak{H}$, et l'on mesure aussi l'hystérésis, mais cette méthode exige un matériel assez compliqué, elle est longue et doit être appliquée par des personnes très exercées, faute de quoi elle risque de perdre toute sa valeur. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que les mesures magnétiques sont, en apparence, très faciles et que les résultats qu'elles donnent sont ordinairement d'une régularité trompeuse; il faut avoir eu l'occasion de refaire fréquemment les mêmes essais, sur un même échantillon, pour apercevoir les très nombreuses causes d'erreur qui viennent vicier les résultats.

» Les instruments industriels ont pour but de parer à ces difficultés et de faciliter ces mesures dans les ateliers, en les mettant à la portée des personnes non habituées aux mesures électriques. En réalité, si l'on fait abstraction des erreurs systématiques inhérentes à chacun de ces appareils, les résultats obtenus sont, en général, plus concordants entre eux que ceux donnés par les méthodes plus exactes, quand les essais sont faits par des opérateurs différents.

» Dans les instruments appelés *perméamètres*, le fer essayé est placé dans une bobine magnétisante entourée d'un bloc de fer doux de grande section. Le circuit magnétique est souvent coupé par un entrefer de faible longueur. La présence du bloc de fer et de l'entrefer nécessite une correction sur la valeur de la force magnétisante,

celle-ci étant dépensée en partie dans le bloc et dans l'entrefer. Une première cause de divergence naît de cette correction; d'un perméamètre à un autre, la correction, plus ou moins parfaite, peut entraîner des erreurs absolues assez considérables, qui rendent les instruments non comparables entre eux.

» Une autre cause d'erreurs, autrement grave pour les perméamètres, résulte des *joints* entre le fer essayé et les blocs de fer qui ferment le circuit magnétique. Ces joints doivent être faits avec un très grand soin, de façon que le contact soit aussi parfait que possible, sinon la réluctance du circuit magnétique est trop élevée et il en résulte que la perméabilité mesurée avec ces instruments est toujours *trop faible*. Avec des joints mal faits, l'erreur peut être quelconque, les résultats n'ont plus aucune signification.

» Cette question des joints est capitale pour les perméamètres; aucune solution complète du problème ne paraît avoir été donnée jusqu'à présent. Avec du soin, on peut arriver à obtenir des joints passables pour les barreaux pleins, *mais pour les tôles la question reste entièrement à résoudre*.

» Dans les mesures d'hystérésis, comme dans les mesures de perméabilité, des différences systématiques existent entre les méthodes et les appareils, de sorte que, si l'on classe des échantillons de fer au point de vue de l'hystérésis, on constate que l'*ordre* est le même avec tous les appareils, mais que le *rapport* entre deux échantillons varie avec chaque hystérésimètre.

» La mesure de l'hystérésis peut, d'après certains auteurs, se faire à l'aide des perméamètres, en traçant la courbe de $\mathfrak{B}$ en fonction de $\mathfrak{H}$, pour un cycle complet, comme on le fait dans la méthode balistique, mais le bloc de fer qui existe dans tous ces appareils introduit une cause d'erreur qu'il est difficile d'éliminer.

» Dans la méthode du wattmètre, les résultats obtenus dépendent de la forme du courant, ce qui rend la comparaison avec les autres méthodes très difficile; néanmoins, comme cette méthode est assez employée, il serait intéressant de connaître la valeur des résultats qu'elle fournit dans la pratique.

» Les hystérésimètres donnent des différences systématiques suivant qu'ils mesurent l'hystérésis tournante ou l'hystérésis alternative; il ne faut donc pas s'étonner de trouver dans le premier cas des

coefficients d'hystérésis plus élevés, d'environ 20 ou 25 pour 100, que dans le second cas.

» L'hystérésis d'un fer s'exprime, soit en indiquant la dépense en joules par centimètre cube et par cycle, pour une induction donnée, soit par le coefficient de Steinmetz. Dans les deux cas, on admet que l'hystérésis suit la loi de Steinmetz, ou, tout au moins, une fonction constante de l'induction maximum, ce qui permet de définir cette qualité par un seul coefficient.

» Dans les hystérésimètres, on compare le fer essayé à un échantillon d'hystérésis connue. On sait, aujourd'hui, que certaines tôles ont un coefficient d'hystérésis qui varie avec le temps; cette variation cause quelquefois des erreurs considérables dans les mesures et dans l'emploi.

» Dans tous les essais magnétiques, l'état physique de l'échantillon joue un rôle considérable, par suite il est indispensable de se placer toujours dans des conditions bien définies et, pour cela, il faut éviter tout travail mécanique susceptible de modifier notablement cet état. Le recuit, qui est le meilleur moyen de placer l'échantillon dans un état bien défini, n'est pas toujours possible, parce que le fer doit être employé tel qu'il est et qu'il ne faut pas placer l'échantillon dans des conditions différentes.

» Les essais magnétiques étant d'une précision très aléatoire, il convient d'accorder une assez large tolérance dans les conditions de réception.

» Les considérations ci-dessus ont amené la sixième Commission à préparer le questionnaire suivant qui sera envoyé aux constructeurs et aux métallurgistes, les réponses obtenues devant servir de base à la discussion de ce sujet devant la Société.

A. — *Perméabilité.*

» 1° Quelles sont les méthodes d'essai employées. $\left\{ \begin{array}{l} a. \text{ pour les fers,} \\ \text{aciers et fontes?} \\ b. \text{ pour les tôles?} \end{array} \right.$

» 2° Quelles sont les conditions imposées aux fournisseurs et quelle méthode d'essai doit servir de base à la réception?

» 3° Quels sont les points les plus importants à connaître selon la nature et l'emploi des fers? (inductions faibles ou élevées; point d'inflexion de la courbe; saturation).

A. — *Perméabilité* (suite).

- » 4° Jusqu'à quelle grandeur de l'induction et du champ magnétisant doivent être gradués les perméamètres?
- » 5° Quelles sont les formes des joints adoptés dans les perméamètres pour les fers pleins et les tôles?
- » 6° Quelle tolérance est accordée dans les résultats?

B. — *Hystérésis*.

- » 1° Quelles sont les méthodes d'essai employées?
- » 2° Quelles sont les conditions imposées aux fournisseurs et quel est l'appareil indiqué pour la réception?
- » 3° Quels sont les écarts constatés entre les résultats donnés par différents hystérésimètres?
- » 4° Quelle tolérance est accordée?
- » 5° Quel est le rapport entre l'hystérésis tournante et l'hystérésis alternative? Ce rapport est-il constant?
- » 6° La loi de Steinmetz se vérifie-t-elle *pratiquement* pour tous les fers et toutes les inductions employées?
- » 7° La variation du coefficient d'hystérésis avec le temps est-elle générale ou limitée seulement à certaines qualités de tôles?
- » 8° Comment faut-il découper les échantillons pour modifier le moins possible leur hystérésis? »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Armagnat, Secrétaire, et le Président de la 6^e Section : ce rapport sera tenu à la disposition des membres qu'intéresse cette question, puis communiqué aux constructeurs et établissements métallurgiques, en vue de sa discussion dans une prochaine séance.

LES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES AUX BASSES TEMPÉRATURES.

M. D'ARSONVAL. — « Messieurs, j'éprouve quelque scrupule à prendre la parole, parce que je désirais apporter un plus grand nombre d'expériences, et surtout des expériences relatives aux températures encore plus basses que celles que l'on peut obtenir avec l'air liquide. Je désirais apporter de l'hydrogène liquide; malheureusement il faut attendre quelques semaines encore pour que l'appareil que je suis en train d'installer donne une production suffisante pour pouvoir apporter ce gaz dans les mêmes conditions que l'air liquide. Pour répondre à de nombreuses demandes, je ne limiterai pas cette Communication aux phénomènes électriques aux basses températures. J'indiquerai, aussi brièvement que possible, les moyens de production de l'air liquide en particulier et des gaz liquéfiés en général, les moyens de conservation de ces gaz liquides, et leurs autres propriétés en dehors des phénomènes électriques.

» Je n'ai pas besoin de rappeler à des physiciens que c'est en France que, pour la première fois, les gaz réputés permanents ont été liquéfiés. Tout le monde sait, mais il est utile de le rappeler, en raison même des publications qui se font à l'étranger, que c'est à M. Cailletet que nous devons les premières expériences qui nous ont montré que les gaz réputés permanents passaient à l'état liquide, et je vous décrirai très rapidement la méthode qui a permis à M. Cailletet d'arriver à ce résultat en 1877. Aujourd'hui, nous savons quelles sont les conditions physiques à remplir pour liquéfier les gaz. Il n'y a pas encore très longtemps, on croyait qu'il suffisait d'exercer des pressions graduellement croissantes pour faire passer tous les gaz de l'état gazeux à l'état liquide. Depuis qu'on a découvert les températures critiques, les points critiques, grâce à Andrews, on sait que, pour arriver à liquéfier un gaz, la pression seule n'est pas suffisante, et qu'il est absolument indispensable d'abaisser préalablement la température de ce gaz à un degré particulier pour chaque gaz, et qui constitue sa température critique. Ainsi, par exemple, pour l'air, on pourrait exercer des pressions indéfiniment croissantes, sans arriver à liquéfier ce mélange gazeux, et l'on ne peut le faire que si l'on a préalablement abaissé la température de l'air

à 140° au-dessous de zéro; cette température critique varie, naturellement, avec chaque espèce gazeuse; en particulier, pour l'acide carbonique, qui a été un des gaz les plus faciles à liquéfier, on sait, surtout depuis les recherches d'Andrews, que c'est à la température de $+31^{\circ}$ que ce gaz atteint sa température critique; de sorte que, si vous mettiez l'acide carbonique à 31° au-dessus de zéro, quelle que fût la pression exercée sur ce gaz, vous n'arriveriez pas à le liquéfier; mais aussitôt qu'il est au-dessous de $+31^{\circ}$, vous pouvez espérer le liquéfier en le comprimant.

» La grande difficulté de la liquéfaction de l'air, par conséquent, et de ses constituants, l'azote et l'oxygène, consistait d'abord à atteindre le point critique, cette température critique qui, je le répète, pour l'air, est à -140° . C'est précisément ce qu'est arrivé à faire Cailletet par la méthode et l'appareil qui portent son nom; cette méthode consiste à refroidir préalablement ce gaz au-dessous de la température critique, et de le refroidir par un moyen extrêmement puissant, c'est-à-dire par la détente de ce gaz comprimé; le principe de M. Cailletet consiste, par conséquent, à comprimer un gaz à une pression plus ou moins élevée, — mettons à 200^{atm} par exemple, — dans un tube en cristal à paroi très épaisse et de calibre très petit, de façon à pouvoir supporter cette pression; puis, lorsque ce gaz est à la pression en question, on le refroidit brusquement en ouvrant un robinet qui lui permet de se détendre et de passer subitement de la pression de 200^{atm} à la pression atmosphérique; on sait que, dans ces conditions, le travail effectué par le gaz suffirait pour abaisser la température aux environs de -240° ; on a ainsi très facilement le moyen d'atteindre la température critique, et par conséquent de liquéfier le gaz. Seulement, comme ce gaz est enfermé dans un récipient dont la capacité calorifique et la masse ne sont pas négligeables par rapport à la masse gazeuse, il y a un échauffement très rapide qui se fait par la paroi, de sorte qu'on n'obtient le gaz à l'état liquide ou à l'état solide que pendant un temps extrêmement court; c'est une liquéfaction qui se passe pour ainsi dire à l'état *dynamique*, et qui ne dure qu'autant que dure le phénomène lui-même de la décompression, de la détente.

» On ne peut donc pas espérer, par le procédé de Cailletet, avoir

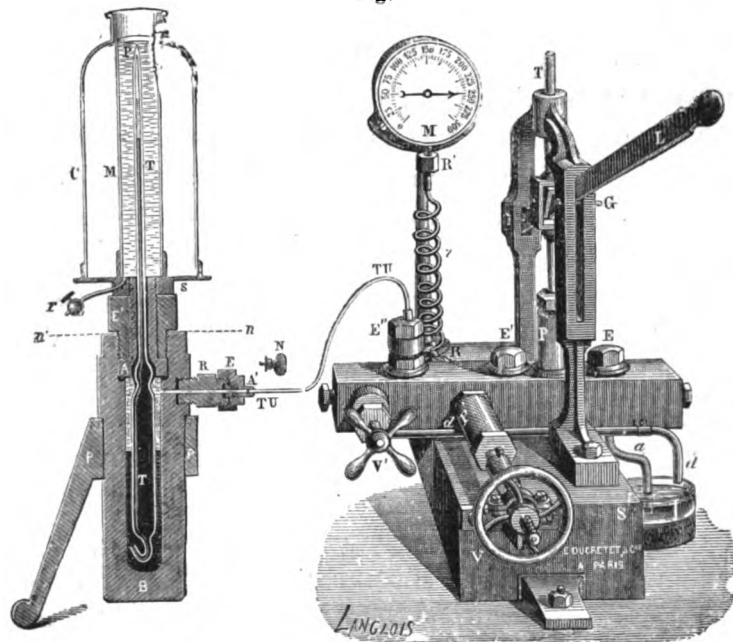
les gaz permanents à l'état liquide *statique*, c'est-à-dire avec la possibilité de les maintenir dans un récipient à la pression atmosphérique.

» Nous allons décrire très rapidement l'appareil de M. Cailletet, qui est extrêmement simple (*fig. 1*). Il se compose, essentiellement, de deux appareils : l'un est une simple pompe de compression analogue à la pompe de la presse hydraulique, et qui sert, en poussant de l'eau dans un récipient que vous voyez ici, à comprimer le gaz dans le second appareil.

» Un manomètre permet d'indiquer la pression. Le deuxième appareil, liquéfacteur, se compose d'un bloc d'acier pouvant supporter plusieurs centaines d'atmosphères, et creusé d'une cavité communiquant par un tube de cuivre de petite section avec la pompe; la partie inférieure de ce réservoir est remplie de mercure; à sa partie supérieure se trouve l'eau qui est en communication avec la pompe, et sur laquelle sera exercée une pression de plus en plus grande; enfin, le gaz qu'il s'agit de liquéfier est enfermé dans une éprouvette en verre, qui est surmontée d'un tube capillaire à paroi très résistante; la partie qui se trouve dans le bloc, supportant une pression égale à l'extérieur et à l'intérieur, n'a pas besoin d'être épaisse comme la partie qui s'échappe du bloc, et constitue le tube liquéfiant. Après avoir rempli l'éprouvette avec le gaz sur lequel on opère, on la scelle dans ce bloc métallique à la glu marine, et on plonge celui-ci dans le mercure; cela fait, on revisse le bloc de façon à le rendre étanche, et l'on fait fonctionner la pompe de compression de façon à chasser l'eau au-dessus du mercure; graduellement, le mercure monte, chasse devant lui le gaz contenu dans l'éprouvette, son volume diminue de plus en plus; enfin, lorsque le manomètre marque 200^{atm} , subitement on ouvre le robinet et l'on détend complètement le gaz, de sorte que sa pression passe de 200^{atm} à la pression atmosphérique; à ce moment, le gaz produit un travail extérieur, tandis que le refroidissement a lieu dans le tube capillaire, au niveau du robinet : d'où liquéfaction du gaz et apparition d'un brouillard particulier montrant que ce gaz passe à l'état solide. Mais, je le répète, ce phénomène est essentiellement transitoire; très peu de temps après, les parois du verre et les parois de l'appareil échauffent le gaz et toute trace de liquéfaction disparaît.

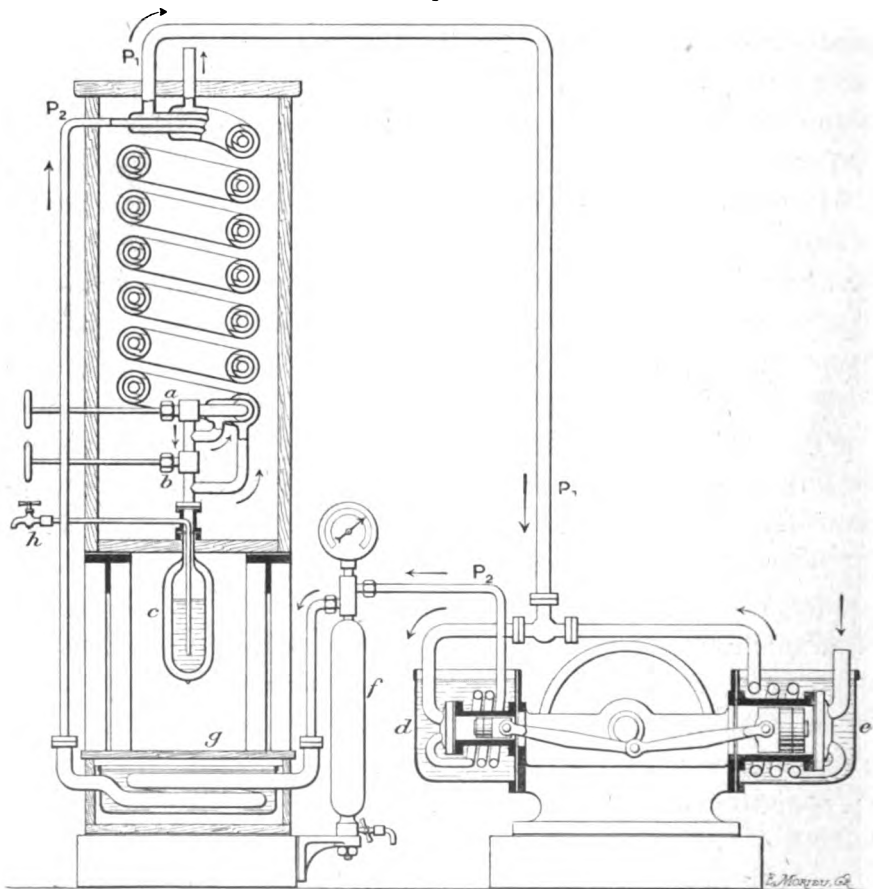
» Pour obtenir, par conséquent, ces gaz à l'état liquide statique,

Fig. 1.



Appareil de Cailletet pour la liquéfaction de l'air.

Fig. 2.



Appareil de Linde pour la liquéfaction de l'air.

il fallait pouvoir maintenir la température de liquéfaction, la température critique, pendant un temps suffisant pour avoir une masse de liquide; ce n'est que graduellement qu'on y est arrivé pour les gaz réputés permanents, et les premiers essais qui ont été faits remontent à quelques années après la première communication de Cailletet : ils sont dus à Wroblewski et Olzewski. Ces auteurs ont employé la méthode de Cailletet, mais ils l'ont perfectionnée d'une certaine façon en employant les procédés mêmes qui avaient été indiqués par Cailletet. Ainsi, pour la liquéfaction de l'oxygène, par exemple, Cailletet avait indiqué que, pour arriver à la liquéfaction permanente, pour obtenir la température du point critique, on pouvait employer l'éthylène, et faire bouillir cet éthylène dans le vide, de façon à abaisser la température d'ébullition jusqu'au point critique de l'oxygène. Par une série de perfectionnements successifs, Wroblewski et Olzewski ont disposé l'appareil de Cailletet dans ces conditions, et c'est ainsi qu'ils sont arrivés à obtenir de quantités petites, mais suffisantes, des gaz réputés permanents, à l'état liquide, et qu'ils ont pu mesurer à l'état statique. Voilà donc une première méthode de liquéfaction, qui consiste à abaisser la température des gaz au-dessous du point critique, puis à les comprimer de manière à les placer exactement dans le même état que l'acide carbonique.

» Pour en avoir une plus grande quantité, il n'y a naturellement qu'à augmenter les moyens, et c'est ainsi qu'on a créé les machines dites à cascades successives de froid. On emploie, par exemple, un premier gaz qu'on liquéfie, qu'on évapore dans le vide : l'acide sulfureux, comme Pictet; on obtient ainsi une température très basse par laquelle on liquéfie un second gaz qui présente un point critique plus bas, l'acide carbonique, par exemple; ensuite, dans cet acide carbonique liquide, on arrive à comprimer l'éthylène qu'on évapore encore dans le vide : on obtient encore une température plus basse à l'aide de laquelle on peut liquéfier l'oxygène. Vous voyez, par conséquent, que ce procédé de liquéfaction des gaz nécessite une série d'appareils à évaporation, de machines à glace, dans lesquelles les points d'ébullition descendent de plus en plus bas de manière à atteindre le point critique spécial à chaque gaz. Je n'ai pas besoin de dire que ces appareils sont extrêmement compliqués et coûteux, et que c'est là, par conséquent, une méthode qui n'a aucun caractère industriel.

» Le deuxième procédé de liquéfaction des gaz, consiste à faire travailler ces gaz dans un cylindre où ils se détendent en poussant un piston, en produisant par conséquent un travail extérieur qui abaisse graduellement leur température. Cette température n'aurait pas pu arriver jusqu'aux valeurs très basses que nécessite la liquéfaction de l'air, si l'on n'avait usé d'un artifice, qui consiste à accumuler pour ainsi dire le froid par un procédé extrêmement simple. L'idée de ce procédé est due à Siemens, et elle a été reprise plus tard par Solvay; elle consiste en ceci : vous faites la détente d'un gaz au-dessous d'un piston : par conséquent, il produit un travail mécanique, sa température s'abaisse; mais, au moment où ce gaz, qui a travaillé et dont la température s'est abaissée, s'échappe du cylindre, au lieu de le rejeter dans l'atmosphère, vous lui faites parcourir un serpentín qui est concentrique au tube d'apport du gaz qui va travailler, de sorte que le gaz qui arrive dans le cylindre se trouve refroidi par le gaz qui en sort. Vous avez donc deux tuyaux concentriques qui constituent un double serpentín : dans le serpentín central, arrive le gaz qui doit travailler sur le piston, et dans le serpentín périphérique, passe, en sens inverse, le gaz qui a déjà travaillé. Vous arrivez ainsi, par conséquent, à accumuler le froid, et l'abaissement de température se fait graduellement; ce procédé a été essayé par Solvay, qui a constitué une machine pour liquéfier les gaz réputés permanents avec production de travail mécanique : mais ce procédé présente de très gros inconvénients au point de vue pratique; en effet, il est extrêmement difficile de faire fonctionner un piston dans un cylindre à ces très basses températures : le graissage ne se fait plus, il y a des grippements, les corps étrangers résultant de la solidification des gaz, l'acide carbonique et la vapeur d'eau, par exemple, empêchent le cylindre de fonctionner. C'est pour cette raison que l'appareil de Solvay et de Siemens n'a pas pu descendre au-dessous de 95° au-dessous de zéro. On avait donc abandonné cet appareil lorsque, tout dernièrement, notre collègue Georges Claude en a repris l'étude et y a apporté un perfectionnement qui permet d'espérer qu'on pourra reprendre avec quelque chance de réussite, au point de vue industriel, ce procédé de liquéfaction des gaz. Claude a remarqué, en effet, qu'à partir d'une certaine température, l'air liquide arrive à mouiller les corps avec lesquels il

est en contact, et, à ce moment-là il devient un agent lubrificateur, absolument comme ce qui se passe dans la machine à glace à acide sulfureux.

» De plus, Claude a remarqué également que l'on pouvait employer, avant d'atteindre ce point particulier où l'air passe à l'état liquide, au lieu des huiles de graissage ordinaires, des corps se congelant à une température plus basse, par exemple les essences de pétrole (Kohlrausch).

» Claude a donc repris cette étude en faisant fonctionner son appareil à l'aide d'air comprimé, et en le graissant préalablement avec des essences légères de pétrole; puis, lorsqu'on a atteint la température de 130° à 135° au-dessous de zéro, on peut supprimer complètement les essences de graissage et, à ce moment-là, se produit, dans le cylindre, une buée de vapeur d'air liquide qui suffit pour assurer le graissage : j'ai vu fonctionner l'appareil de Claude à la station des Omnibus; il a pu fonctionner 6 ou 7 heures durant sans gripper; la soudure thermo-électrique installée sur l'appareil marquait -160° à ce moment; le graissage se fait automatiquement par la détente de l'air et par les vésicules d'air liquide qui se produisent à ce moment. L'appareil de Claude n'était pas suffisamment bien isolé pour arriver à la production d'air liquide, mais, je le répète, cette expérience est extrêmement encourageante, et montre qu'on pourra atteindre ces basses températures brusquement, en utilisant le travail de détente des gaz qu'on voudra liquéfier.

» Une autre solution de même ordre proposée par Lord Rayleigh est peut-être plus pratique. Il a imaginé de remplacer la machine à piston par une turbine qui fonctionne par suite de la détente des gaz qu'on veut liquéfier. Il est toujours plus facile de faire mouvoir une turbine qu'une machine alternative; la seule difficulté, c'est que, pour rendre ces turbines acceptables, il faut qu'elles fonctionnent dans le vide; on peut condenser la vapeur, mais avec les gaz (air atmosphérique) le problème devient plus compliqué et je ne sais pas, dans la pratique, ce que donnera ce procédé.

» Voilà donc les deux premières méthodes qui sont employées pour la liquéfaction des gaz.

» Il me reste à vous parler d'une troisième méthode, qui est la

seule industrielle : c'est la méthode qui a été indiquée par Linde le premier. La méthode de Linde repose sur un principe tout à fait particulier, qui est différent des deux que je viens de citer, et qui a été indiqué, il y a quelque quarante ans, par Joule et sir William Thomson.

» Le principe de cet appareil repose sur ce fait, que la loi de Mariotte n'est qu'une loi approchée, et que, au moment où l'on comprime l'air atmosphérique et qu'on le laisse se détendre, il se produit un travail intérieur; ce travail intérieur avait passé inaperçu jusque-là, ou du moins n'avait pas été utilisé à ce point de vue. Si on laisse, par exemple, détendre de l'air en le laissant couler à travers un orifice rétréci, ou à travers un tampon d'ouate comme le faisaient Joule et Thomson, on remarque que la température de cet air s'abaisse d'une certaine quantité, dont la formule a été donnée par Joule et Thomson, et que cette quantité, qui est relativement très faible, permet néanmoins, en accumulant les effets, d'atteindre la température critique.

» L'abaissement de température qui se produit par l'écoulement, de la façon que je viens d'indiquer, est, je le répète, extrêmement faible; il est d'environ $\frac{1}{4}$ de degré par atmosphère. Vous voyez donc que, pour atteindre la température de liquéfaction de l'air, il faudrait, pour appliquer le principe de Thomson et Joule, porter les pressions de cet air à plus de 800^{atm}, ce qui ne serait pas réalisable au point de vue pratique. Mais, avec l'emploi du principe de l'appareil à échange, de l'appareil à récupération posé pour la première fois par Siemens, M. Linde a pu accumuler les effets des détentes successives, et c'est ainsi qu'il est arrivé à réaliser la machine qui porte son nom et à obtenir très rapidement l'air liquide.

» Le dispositif général de l'appareil de Linde est le suivant (*fig. 2*). Il se compose en somme de deux appareils distincts: le premier constitue un compresseur d'air ordinaire analogue à ceux qui servent dans la marine pour la charge des torpilles et qui peut comprimer l'air atmosphérique à 250^{kg}; cet air comprimé vient se détendre dans un deuxième appareil constituant l'échangeur, et, par suite de ses détentes successives où s'applique le principe de l'appareil à contre-courant, on voit la température s'abaisser graduellement.

» Le compresseur est à deux cylindres en cascade; il aspire l'air atmosphérique par la tubulure et comprime cet air dans le petit cylindre *c* à une pression d'environ 16^{atm} ; cet air est appelé en même temps qu'une certaine quantité d'eau qui sert à refroidir le gaz pendant sa compression, et le tout traverse un serpentin plongé dans l'eau courante, et qui le conduit dans le deuxième cylindre *d*; ce même cylindre, qui reçoit l'air comprimé à 16^{atm} , le comprime à une pression douze ou quatorze fois plus grande, de sorte que l'air sort comprimé par ce tuyau à environ 220^{atm} .

» L'eau entraînée mécaniquement se trouve séparée dans une bouteille en fer *f* qui laisse l'eau à la partie inférieure et laisse passer le gaz par le tube supérieur, débarrassé de l'eau mécaniquement entraînée.

» Mais il faut encore débarrasser cet air de la vapeur d'eau qu'il contient; en effet, les moindres traces de vapeur d'eau arrivées dans l'appareil de liquéfaction obstrueraient très rapidement les serpentins. On débarrasse cet air des dernières traces de vapeur d'eau en lui faisant traverser un serpentin *g* refroidi à -20° par un procédé quelconque. Dans la petite machine de laboratoire, nous employons simplement le mélange réfrigérant de glace et de sel qui donne -18° . Dans les machines plus puissantes, on emploie une véritable machine à glace à ammoniac ou à acide sulfurique, pour abaisser la température. Dans ce serpentin se condensent les dernières traces de vapeur d'eau, et, dans le tube vertical *P*, que vous voyez ici, l'air débarrassé de vapeur d'eau est comprimé à 220^{atm} ; il arrive dans ce premier serpentin intérieur que vous voyez là jusqu'à ce robinet de détente figuré en *a*. On ouvre légèrement ce robinet de détente, et on laisse la pression tomber de 220^{atm} à la pression de 20^{atm} ; à ce moment se produit un refroidissement de 50° ; l'air passe dans un deuxième serpentin concentrique au premier, revient en sens inverse, et il y a échange de température entre l'air qui arrive et l'air qui part, et peu à peu l'abaissement de température arrive graduellement à -140° , température où va commencer la liquéfaction. Lorsqu'on atteint le point critique, dont on est averti par une soudure thermo-électrique collée sur ce robinet en communication avec un de mes appareils galvanométriques indiquant à chaque instant la marche de la température, on ouvre le deuxième

robinet à la partie inférieure, et on laisse se détendre cet air qui était à 20^{atm} , à la pression atmosphérique. Il y a donc là une deuxième détente, et à ce moment une partie du gaz se liquéfie, tombe dans l'appareil *c*, dont je parlerai tout à l'heure, et l'autre partie s'échappe par un troisième serpentin concentrique aux deux premiers qui laisse s'échapper l'air gazeux dans l'air atmosphérique; vous voyez, en somme, que l'échangeur se compose de trois serpentins concentriques : le premier amène l'air à 220^{atm} , le deuxième est parcouru par l'air à la pression de 20^{atm} , le troisième le laisse s'échapper à la pression atmosphérique.

» Le rôle de ce troisième serpentin est un rôle de protection analogue à la chemise de vapeur dans les machines à vapeur, et empêche l'apport de chaleur extérieure de venir frapper le premier et le deuxième serpentin. Ce qu'il y a de remarquable dans la machine de Linde, ce n'est pas seulement le principe sur lequel elle repose, c'est l'ensemble des dispositions mécaniques.

» Le principe, extrêmement intéressant, est le suivant : pourquoi Linde ne laisse-t-il pas se détendre simplement l'air qui a pénétré dans le premier serpentin de 220^{atm} à la pression atmosphérique, directement, comme le font Hampson et Tripler? La raison en est très simple : c'est que, si la différence de température entre l'air qui s'est écoulé et l'air qui passe dans le deuxième serpentin est proportionnelle à la chute de pression, le travail de compression est proportionnel au quotient de ces pressions seulement; il y a donc tout intérêt à faire ce quotient le plus petit possible et à faire la différence de température la plus grande possible. Si donc Linde laissait échapper l'air à la pression de l'atmosphère, la chute de pression serait de 220; mais le travail de compression serait beaucoup plus grand que s'il ne laisse échapper l'air qu'à 16^{atm} . Dans les grandes machines, comme celle que j'ai au laboratoire, l'air est comprimé à 220 et se décomprime à 50; la chute est de 170^{atm} .

» Le rapport des pressions montre qu'on économise une très grande quantité de travail en ne laissant pas la chute de pression se faire de la pression initiale à la pression atmosphérique; c'est ce en quoi la machine de Linde diffère des machines qui ont été établies postérieurement sur le même principe que la sienne : les machines de Hampson ou Tripler; dans ces machines, la détente se fait à la

pression atmosphérique; par conséquent, le travail de compression est beaucoup plus grand. Un autre avantage de la machine de Linde, c'est qu'il n'est pas nécessaire d'avoir des compresseurs aussi volumineux que ceux qui utilisent la détente totale.

» En effet, dans la machine de Linde, le gaz qui arrive du deuxième serpentín, au lieu de s'échapper dans l'atmosphère, revient dans le premier cylindre compresseur, circule sur lui-même constamment, de sorte que, si nous prenons la machine que j'ai au laboratoire, le compresseur aspire 20^m d'air atmosphérique; seulement, le circuit de refroidissement que nous avons ici, qui fait passer l'air de 50^{atm} à 200^{atm} , et aspire par conséquent constamment l'air sous la pression de 50^{atm} , fait circuler 75^m d'air à l'heure; de sorte que, en somme, avec le dispositif de Linde ce compresseur, qui ne ferait circuler que 20^m d'air sous la pression atmosphérique, en fait circuler 100^m , au contraire, lorsque l'on ne détend l'air qu'à 50^{atm} : il faut donc un compresseur cinq fois moins puissant pour obtenir le même effet par l'emploi du principe de Linde que lorsqu'on fait la détente totale comme dans les appareils de Hampson ou Tripler. Vous voyez donc quelle économie on réalise avec l'appareil de Linde et pourquoi il donne les résultats industriels intéressants que vous connaissez.

» Voilà donc, en très peu de mots, les procédés employés pour arriver à la liquéfaction de l'air. Il reste à voir les procédés employés pour conserver ces gaz liquéfiés à la température ambiante et ne pas avoir une évaporation trop rapide. Le dispositif employé pour cela est extrêmement simple : il consiste à appliquer, pour obtenir un vase imperméable à la chaleur, un principe qui a été indiqué autrefois par Dulong et Petit : ces auteurs ont montré, en effet, dans leurs expériences sur le refroidissement, que des corps placés dans une enceinte vide se refroidissent ou se réchauffent vingt à vingt-cinq fois plus lentement que dans l'air atmosphérique; par conséquent, en utilisant cette indication, on arrive à faire les vases que vous avez ici et qui sont constitués de la façon suivante : ce sont deux tubes ou deux sphères en verre qui sont concentriques, éloignées l'une de l'autre de quelques millimètres, et entre lesquelles on a fait le vide le plus parfait possible. Dans ces conditions, on a éliminé toute espèce d'apport de chaleur par convection, puisqu'il

n'y a plus ici de corps qui puisse passer d'une paroi à l'autre pour apporter la chaleur extérieure. Eh bien, j'ai signalé ces vases il y a quinze ans pour la première fois, et je les avais faits précisément dans ce but, pour maintenir les gaz liquéfiés à la température ambiante; à ce moment il s'agissait de trouver un moyen de mettre le chlorure de méthyle à la disposition des chirurgiens qui l'employaient comme anesthésique local; et voici quel est le modèle que j'avais fait à cette époque.

» C'étaient deux petits tubes concentriques entre lesquels on avait fait le vide le plus complet possible; je tiens à rappeler ce fait pour montrer que, de même que la liquéfaction des gaz s'est faite pour la première fois en France, de même la conservation des gaz liquéfiés par les vases à vide a été faite également en France. Vous me permettrez simplement de vous rappeler la Note que j'ai publiée le 11 février 1888 à la Société de Biologie; voici ce que je disais :

« Dans bien des circonstances, il importe de réaliser un milieu
» aussi imperméable que possible à la chaleur, et néanmoins par-
» faitement transparent; après des essais dans le détail desquels je
» ne saurais entrer, j'ai trouvé que le vide sec dans un vase en verre
» constitue une excellente enveloppe pour arrêter la chaleur. L'appareil se compose, en principe, de deux vases de verre entrant l'un
» dans l'autre, de façon à former un vase unique qui constitue un
» récipient à deux cavités concentriques, l'une intérieure, le réservoir proprement dit, l'autre annulaire, où l'on fait le vide sec à
» l'aide d'une pompe à mercure, aussi parfaitement que possible.
» Dans un récipient ainsi constitué, on peut conserver les gaz liquéfiés pendant des heures à la température ambiante et les manier
» aussi facilement que l'eau ordinaire, la transparence absolue du
» récipient permettant de suivre tous les phénomènes qui se passent
» dans le liquide. »

» Par conséquent, les vases à vide existaient en France, et ont été utilisés dans le but spécial de conserver les gaz liquéfiés, comme forme et principe, dès l'année 1888; par conséquent, je le répète, un temps suffisant aujourd'hui pour démontrer que ces récipients existaient avant qu'on eût songé à la liquéfaction de l'air.

» Un perfectionnement y a été apporté depuis, dont je n'avais

pas besoin pour les expériences que je poursuivais, par Dewar, et qui a consisté à argenter les deux parois de ce tube de façon à éliminer l'apport de chaleur par rayonnement. Dans ces conditions on améliore le rendement de ces vases, mais le principe reste le même.

» Quoi qu'il en soit, à l'aide de ces vases, lorsqu'ils sont bien fabriqués, lorsque l'argenteure est bien faite, on peut arriver à conserver l'air liquide, c'est-à-dire à conserver des températures inférieures à la température ambiante de plus de 200° pendant des semaines entières.

» J'ai là, entre autres, un de ces vases qui m'a été envoyé de Berlin, dans lequel j'ai pu conserver l'air liquide pendant vingt-neuf jours. Vous voyez donc que l'apport de la chaleur extérieure est extrêmement faible.

» Une question intéressante est de savoir par où se fait cet apport de chaleur. Se fait-il par rayonnement ou par conduction? Cet apport de chaleur semble se faire uniquement par la soudure qui relie entre eux les deux ballons. En effet, si vous mettez cette bouteille sur une balance enregistreuse, comme celle de Richard, par exemple, et si vous examinez la courbe d'évaporation, vous voyez que c'est une ligne droite; cela montre, par conséquent, que la transmission de la chaleur est absolument indépendante de la surface de contact du liquide avec la boule; il faut donc que cet apport arrive par conductibilité.

» Voilà donc, Messieurs, quels sont les procédés par lesquels on peut produire l'air liquide et par lesquels on peut conserver cet air liquide pendant un temps suffisant pour pouvoir faire des expériences de longue haleine.

» Je vais passer maintenant très rapidement aux propriétés de cet air liquide. L'air liquide, bien entendu, est un mélange non seulement d'azote et d'oxygène, mais d'acide carbonique contenu dans l'air et qui n'est pas séparé dans l'appareil de Linde; il contient en outre les nouveaux gaz atmosphériques dont nous devons la connaissance à Lord Rayleigh et Ramsay : cet air liquide, dans l'appareil de Linde, lorsqu'on en fait l'analyse, n'est pas constitué dans les mêmes proportions centésimales que l'air atmosphérique; une très grande quantité d'azote s'évapore au moment de la liquéfaction, et le liquide

qu'on recueille est beaucoup plus riche en oxygène que l'air atmosphérique. La densité de l'oxygène liquide, à sa température d'ébullition, à la pression atmosphérique, est de 1,12; la densité de l'azote, de 0,88. De sorte que la densité de l'air liquide, contenant un volume égal d'azote et d'oxygène, se trouve être sensiblement la densité de l'eau; elle égale 1. Il est donc extrêmement facile de connaître la richesse en oxygène d'un air liquide, tout simplement en plongeant un densimètre dans cet air liquide. En effet, si vous trouvez, par exemple, comme je l'ai trouvé pour l'air liquide que j'ai apporté ce soir, au moment de la liquéfaction, une densité de $\frac{96}{100}$, c'est-à-dire de 960^g par litre, en établissant une simple proportion, vous avez : Si x est le pourcentage, en volume, de l'oxygène et y celui de l'azote,

$$1,12x (\text{oxygène}) + 0,88y (\text{azote}) = 0,96.$$

» Et, d'autre part :

$$x + y = 1.$$

» On déduit de cette donnée que le mélange mis sous vos yeux contient, en volume :

Oxygène.....	33,7 pour 100
Azote.....	66,7 pour 100

et en poids :

Oxygène.....	38,9 pour 100
Azote.....	61,1 pour 100

» Cet air liquide à sa température d'ébullition, qui est d'environ -191° , se comporte comme l'eau dans une carafe, ainsi que vous le voyez (expérience de l'air liquide versé d'un vase dans un autre). Cet air liquide que je vous présente est un peu louche, parce qu'il contient des cristaux d'acide carbonique; pour le rendre limpide, il suffit de le filtrer sur un filtre ordinaire en papier, ainsi que vous le voyez ici. L'acide carbonique reste sur le filtre à l'état neigeux, et l'air devient parfaitement limpide.

» Il présente une légère teinte bleuâtre due principalement à l'oxygène; lorsqu'il y a de l'azote pur, le liquide est parfaitement incolore; lorsqu'au contraire sa teneur en oxygène augmente, la coloration bleue augmente également.

» Les autres propriétés physiques de l'air liquide sur lesquelles

je vais passer rapidement sont les propriétés extrêmement curieuses de l'action de ces basses températures sur la résistance et la constitution des corps; les substances plongées dans l'air liquide ont la propriété de durcir d'une façon extrêmement remarquable et les plus élastiques deviennent cassantes; une expérience tout à fait typique est celle du caoutchouc: ainsi, vous voyez que ce morceau de caoutchouc, après avoir été plongé dans l'air liquide, devient dur et se casse comme du verre, et, quand il est revenu à la température ambiante, il reprend toutes ses propriétés. Cette propriété du durcissement donne donc, aux corps qui ont subi l'action de l'air liquide, une très grande friabilité, et c'est un procédé très simple pour pulvériser les corps les plus rebelles, comme le liège, la viande, etc.

» Cela permet encore de réduire en poudre les microbes; il suffit de les refroidir dans l'air liquide et de les piler dans un mortier.

» C'est un moyen de vérifier si la levure de bière contient un ferment soluble alcoolique.

» Une autre propriété intéressante de ces abaissements de température, c'est la résistance tout à fait particulière qu'ils communiquent aux objets qui ont été ainsi refroidis. Nous avons vu tout à l'heure, par exemple, que le caoutchouc prend une dureté exceptionnelle et présente une résistance à la rupture beaucoup plus grande; mais cette résistance à la rupture augmente également dans tous les autres corps, et principalement dans les métaux. Je prends, par exemple, ce fil de fer, dont la limite de rupture est de 1^{kg}, 200 et qui a $\frac{2}{10}$ de millimètre de diamètre environ, et je le suspends, par son crochet supérieur, à cette potence; à son crochet inférieur, nous allons suspendre un plateau de balance et nous allons verser de l'air liquide dans le tube où nous avons préalablement introduit le fil, de façon à le refroidir. Quand ce fil de fer sera très froid, nous allons le charger graduellement et je vais pouvoir mettre un poids trois ou quatre fois plus considérable qu'à la température ambiante: il ne va pas se casser; nous allons laisser évaporer l'air liquide: lorsque le fil reviendra à la température de l'air ambiant, vous le verrez se rompre. (*Expérience.*)

» Un autre phénomène intéressant, dû aux basses températures,

est le changement de coloration des corps : ainsi, par exemple, ce papier, coloré en rouge par le biiodure de mercure, après avoir été plongé dans l'air liquide se décolore et passe au jaune ; il reprendra sa coloration rouge quand il sera revenu à la température ambiante.

• A ces basses températures, les affinités chimiques disparaissent pour ainsi dire totalement, de sorte que vous pouvez plonger impunément, dans l'air liquide, les substances les plus facilement oxydables, le potassium, le phosphore : il n'y a absolument aucune réaction chimique.

» Néanmoins, lorsqu'on amorce la réaction, cette réaction peut se continuer, et l'on arrive ainsi à utiliser certaines réactions pour produire des températures extrêmement élevées, ou pour réaliser des explosifs d'une nature tout à fait particulière : vous voyez, par exemple, cette allumette présentant encore un point en ignition continuer à brûler avec une très grande activité dans l'air liquide en développant une température excessive.

» On a tenté l'application industrielle de cette propriété pour remplacer l'arc électrique par l'injection d'air liquide dans un mélange de chaux et de charbon ; on arrive à produire du carbure de calcium, mais ce procédé n'a pas donné de rendement suffisant pour pouvoir remplacer les procédés habituels.

» Les actions chimiques s'arrêtant à ces températures, les phénomènes photographiques sont également suspendus, ou du moins ralentis considérablement, ainsi que Dewar l'avait signalé et que Lumière l'a démontré depuis.

» Enfin, une autre propriété extrêmement remarquable de ces basses températures, c'est de permettre une méthode de séparation en différents gaz qui est extrêmement précieuse ; on arrive, en graduant suffisamment ces températures, à pouvoir séparer les gaz les uns des autres par des liquéfactions successives ; mais on peut également arriver à séparer les liquides. Ainsi, j'ai proposé dernièrement un moyen de réaliser des thermomètres à liquide incongelable à ces basses températures, en distillant des pétroles de manière à éliminer les substances qui pouvaient se congeler dans l'air liquide. Le procédé est extrêmement simple : les pétroles peuvent contenir certaines vapeurs, hydrocarbures, condensables aux basses tempé-

ratures, de la benzine, de l'éthane en solution. La première chose à faire, c'est de séparer ces gaz : on commence par soumettre le pétrole au vide ; avec la trompe, on entraîne les gaz en solution ; puis on procède à une première congélation pour séparer la benzine dans le chlorure de méthyle à -23° ; puis, pour séparer les autres produits dont le point de fusion est encore plus bas, on plonge le pétrole dans un mélange d'acide carbonique et d'acétone à -80° , et l'on arrive ainsi à condenser une autre série ; enfin, si l'on met ce pétrole en communication avec l'air liquide, de façon à obtenir une distillation en chauffant le pétrole à -80° et en le refroidissant à -190° , on arrive ainsi à avoir des pétroles tout à fait incongelables dans l'air liquide et pouvant servir à la construction de thermomètres pouvant remplacer les appareils galvanométriques.

» Je vous signalerai encore que j'emploie, pour les expériences que je poursuis en ce moment, et dans lesquelles il faut préparer une très grande quantité d'hydrogène, un procédé qui me permet d'avoir de l'hydrogène à l'état pur ; au lieu de préparer ce gaz par le zinc ou par l'électrolyse, je le prépare simplement par le gaz d'éclairage ; ce gaz contient 50 pour 100 en volume d'hydrogène, 45 à 48 pour 100 de méthane, une petite quantité d'oxyde de carbone, quelques traces d'acide carbonique et, enfin, des vapeurs hydrocarbonées. Pour séparer tous ces corps, il suffit de placer, dans une éprouvette remplie d'air liquide, un tube à travers lequel on fait passer le gaz d'éclairage ; dans cette éprouvette, tous les corps autres que l'hydrogène sont condensés à l'état liquide ou solide. On fait arriver le gaz par le tube extérieur, qui se refroidit au contact de l'air liquide et abandonne tous les corps autres que l'hydrogène.

» *Expérience.* — Le gaz d'éclairage perd son pouvoir éclairant ; si je mets dans la flamme un fil de platine, il prend un éclat éblouissant à cause de la présence de l'hydrogène.

» Ce procédé semble peu pratique. Mais il n'est pas nécessaire de passer par l'intermédiaire de l'air liquide pour arriver à produire de l'hydrogène pur : il suffit de prendre le gaz d'éclairage, de le dépouiller des hydrocarbures liquides ou à l'état de vapeur et de faire passer ensuite le gaz dans la machine de Linde, de le comprimer à 200^{atm}, de le laisser détendre, comme vous faites pour l'air ;

dans ces conditions, il résulte que le formène, qui représente 45 pour 100 environ du gaz, tombe à l'état liquide, est recueilli, et c'est de l'hydrogène presque pur qui sort de l'autre côté.

» Vous voyez donc que ces basses températures permettent de procéder à une séparation purement physique qui rendra de grands services à l'industrie et surtout aux recherches scientifiques. Dans le procédé que je viens d'indiquer, il est très facile de trouver les éléments d'un chalumeau de laboratoire, il suffit de recueillir l'air liquide qui s'évapore, et de l'envoyer dans un chalumeau avec l'hydrogène pur pour faire des soudures autogènes.

» La chaleur spécifique des métaux a été l'objet des recherches de Behn en Allemagne : au fur et à mesure qu'on se rapproche de zéro, elle va en diminuant graduellement et, au voisinage de ce zéro absolu, une très petite quantité de chaleur suffit pour élever d'une façon très notable la température des corps en question.

» La chaleur de vaporisation de l'air a également été mesurée ; je l'ai fait par un procédé grossier, mais suffisant, qui est le suivant : on met un ballon sur le plateau d'une balance ; on voit ce qu'il perd à la température ambiante lorsqu'on le laisse évaporer spontanément, puis parallèlement, la perte de poids, lorsque l'on place dans le ballon une lampe à incandescence dont on mesure l'énergie : vous avez la quantité de chaleur apportée, la quantité de liquide évaporé et vous déduisez la chaleur de vaporisation. J'ai trouvé environ 65^{Cal}.

» Enfin, j'ai mesuré la chaleur spécifique de l'air à différentes pressions et diverses températures ; tous les calculs ont été établis sur cette base, que la chaleur spécifique de l'air est toujours égale à 0,21 comme elle l'est à la température et à la pression ambiantes. J'ai fait une série de déterminations à zéro et à — 100 avec des pressions différentes : à — 100, c'est-à-dire avec l'air gazeux, lorsqu'il est encore très loin du point critique, voici quels nombres j'ai obtenus.

» A — 100, la chaleur spécifique rapportée à l'unité de poids égale :

A la pression de	10.	atm	0,2585
»	20.		0,284
»	38.		0,375
»	75.		0,866

» Vous voyez, par conséquent, qu'à 75^{e} et à -100° la chaleur spécifique a presque quadruplé. On est donc très loin de compte, lorsqu'on fait le calcul sur le travail ou l'énergie qu'il faut pour abaisser la température de l'air jusqu'au point critique, lorsqu'on suppose que la chaleur spécifique de l'air est une constante; cette constante varie énormément suivant la pression, et suivant la température à laquelle on opère; par conséquent, ce qu'il y a de plus court est l'expérimentation, pour établir ces nouvelles machines.

» J'arrive maintenant à l'action de ces basses températures sur les phénomènes vitaux. Vous savez que les phénomènes vitaux peuvent se diviser en deux grandes catégories: ceux qui se passent dans les tissus par l'intermédiaire des ferments solubles, par exemple tous les phénomènes caractéristiques de la digestion et un très grand nombre de fermentations; l'action de la levure de bière, par exemple sur le sucre de canne, qu'elle dédouble en lévulose et glucose, ce dédoublement étant nécessaire pour que la cellule puisse utiliser le sucre: le même phénomène a lieu dans l'intestin. Si l'on injecte, dans le sang, du sucre, on constate son passage intact dans les urines. Il ne se brûle pas tant qu'il n'est pas dédoublé: ces phénomènes sont produits par des ferments solubles qui constituent les divers sucs digestifs. J'ai vu qu'en les soumettant à l'air liquide ils perdent leur propriété, mais la reprennent quand ils reviennent à la température ambiante.

» La deuxième catégorie de phénomènes vitaux, c'est la vie de la cellule elle-même: les cellules sur lesquelles on peut expérimenter le plus facilement sont les cellules microbiennes, les différents microbes pathogènes dont je n'ai pas à citer l'énumération, puisqu'elle croît tous les jours. Ils sont également restés insensibles à la température de l'air liquide, et non seulement en les y soumettant pendant quelques heures, mais en les y laissant pendant trois semaines. Il y en a un qui est tout à fait remarquable pour ces études, c'est le bacille qui a été étudié par Charrin, le bacille pyocyanique, qui a la propriété, indépendamment des substances solubles qu'il émet, de sécréter une matière colorante bleue qui lui a valu son nom; ce bacille est extrêmement sensible et il suffit qu'il

soit atteint dans sa vitalité par une cause aussi minime que possible pour cesser immédiatement sa sécrétion : on peut le laisser dans l'air liquide jusqu'à trois semaines : c'est à peine s'il accuse une diminution dans sa sécrétion colorée ; par conséquent, vous voyez que ces basses températures sont tout à fait différentes des températures de l'ordre opposé de l'échelle, c'est-à-dire des températures au-dessus de zéro, puisqu'une température de $+ 50^{\circ}$ tue les cellules vivantes de notre organisme, tandis qu'une température de $- 200^{\circ}$ reste sans action.

» Pourquoi cette résistance, d'une part, et pourquoi, au contraire, cette facilité de tuer les cellules lorsqu'on s'élève de quelques degrés seulement au-dessus de la température du corps ? Cela tient, je crois, à ce que, dans les cellules, il s'exerce intérieurement des pressions osmotiques qui sont extrêmement intenses : ces pressions peuvent s'évaluer à des centaines et même un millier d'atmosphères ; or, il arrive que, dans une cellule où l'eau se trouve comprimée par les pressions osmotiques à ce degré, l'eau se trouve exactement dans le même cas que dans un bloc d'acier (expérience de Mousson) sur lequel on exerce une pression : cette eau ne peut pas se congeler, ou se congèle à une température d'autant plus basse que la pression exercée est plus considérable ; on peut empêcher l'eau de se congeler même à 30° au-dessous de zéro, si l'on exerce sur elle une pression suffisante ; il en est de même des cellules ; la preuve : les cellules de levure de bière résistent à la température de l'air liquide ; si vous venez à abaisser la tension osmotique de l'intérieur de ces cellules, en les mettant préalablement dans une solution sucrée ou contenant du sel marin, qui n'est pas isotonique avec la solution que renferment les cellules ; lorsque vous avez ainsi abaissé cette tension osmotique, ce qui ne touche pas du tout à la vitalité des cellules, et si vous les mettez alors dans l'air liquide, elles sont tuées par la congélation de l'eau à leur intérieur, qui brise leurs enveloppes.

» Cela explique pourquoi les températures inférieures à zéro ne tuent pas les cellules vivantes et pourquoi, au contraire, les températures au-dessus de la température ambiante les tuent en coagulant la matière albuminoïde. Il n'y a donc pas ici une résistance spécifique.

» J'arrive aux phénomènes magnétiques, sur lesquels je suis obligé de passer rapidement.

» Les phénomènes magnétiques prennent une certaine intensité à ces basses températures et, par exemple, présentent leur maximum de variation et de sensibilité avec certains aciers particuliers, par exemple l'acier au nickel, point sur lequel Guillaume a insisté d'une façon particulière. Guillaume, puis Osmont, Le Chatelier, ont montré que le nickel introduit dans ces aciers faisait que le magnétisme n'apparaissait qu'à une température beaucoup plus basse que dans l'acier n'en contenant pas.

» De sorte que, pour rendre magnétiques certains de ces aciers au nickel, il suffit de les plonger dans l'air liquide. Il y a dans ces aciers deux variétés particulières : l'une qui, après avoir été trempée dans l'air liquide et avoir acquis cette propriété magnétique, la conserve lorsqu'elle revient à la température ordinaire : c'est ce que Guillaume appelle l'*acier irréversible*; et l'autre, au contraire, qui perd ces propriétés magnétiques : c'est l'*acier réversible*.

» Nous avons également étudié les coefficients de variation des aimants, les variations de perméabilité, d'hystérésis et de conductibilité électrique.

» Je tiens à vous donner les chiffres que nous avons pu vérifier et voir par nous-mêmes, et lorsque j'aurai dit que ces mesures ont été faites dans les ateliers Carpentier avec la collaboration de M. Armagnat, ce sera dire qu'elles méritent toute confiance.

» Nous avons cinq échantillons de barreaux d'acier d'Allevard, et nous avons mesuré, à l'aide du balistique, le magnétisme de ces aimants à -190° et à $+10^{\circ}$.

» Je vous fais grâce des chiffres que vous trouverez dans les comptes rendus; voici quels furent les résultats de ces expériences : la perte de magnétisme de A à C, c'est-à-dire à partir de la température ambiante, passant à celle de l'air liquide, puis revenant à la température ambiante, a été de 2 pour 100 pour le premier échantillon, de 1,3 pour le second, de 3,2 pour le troisième, de 4,25 pour le quatrième, de 3,1 pour le cinquième, et de 1,45 pour le sixième. Ce qui donne pour coefficient moyen de variation entre $+10^{\circ}$ et -190° , $\frac{2}{10000}$ pour le premier échantillon, $\frac{3}{10000}$ pour le deuxième, $\frac{3.5}{10000}$ pour le cinquième, $\frac{3.3}{10000}$ pour le sixième.

» Voici maintenant les expériences qui ont été faites sur la perméabilité du fer doux mesurée au balistique, et par le renversement du courant magnétisant; ces expériences ont été faites en partant de la température ambiante, en allant à -190° et en revenant à la température ambiante.

» Eh bien, on constate en gros que, dans l'air liquide, pour un certain degré de force magnétisante, la perméabilité diminue; elle diminue jusqu'à une certaine valeur de la force magnétisante; puis, à partir de cette valeur elle dépasse la valeur qu'on obtient à la température ambiante. Au retour, on revient sensiblement sur ses pas : on a exactement les mêmes phénomènes; en somme, à la température de l'air liquide, il y a un simple déplacement de la courbe qui est assez difficile à interpréter; je le répète, je ne vous donne pas les détails de ces expériences que vous trouverez dans le *Bulletin* (fig. 3).

FORCE MAGNÉTISANTE. INTENSITÉ DU CHAMP. INTENSITÉ D'AIMANTATION. INDUCTION.

*Perméabilité d'un anneau de fer mesurée au balistique,
par renversement du courant magnétisant.*

1° Température ambiante.		2° Air liquide.		3° Revenu à la température ambiante.	
H.	B.	H.	B.	H.	B.
0,27	82	0,277	55	»	»
0,52	275	0,52	138	0,52	275
0,78	715	0,78	330	»	»
1,04	1540	1,04	580	1,04	1620
1,56	4175	1,56	2700	1,56	4025
2,35	7000	2,35	6250	»	»
3,13	8950	3,13	8420	3,13	8900
4,18	10670	4,18	10350	»	»
5,22	12000	5,22	11700	5,22	11950
6,95	13700	6,95	13650	6,95	13750
8,73	14850	8,71	14850	8,71	14850
14,5	16900	14,4	17050	14,4	16900
»	»	18,3	17800	18,3	17600
»	»	26,1	18800	26,2	18550
»	»	34	19310	34	19100

BARREAUX D'ACIER TREMPÉ, FRAICHEMENT AIMANTÉS.

Acier d'Allevard.

T + 18°	74,5	75,5	78	82	80	69	A
T - 190°	76,5	79	81	84,5	83	72,5	B
T + 10°	73	74,5	75,5	78,5	77,5	68	C
Perte de A à C.....	2 0/0	1,3 0/0	3,2 0/0	4,25 0/0	3,1 0/0	1,45 0/0	
Coefficients de variation entre + 10°							
et - 190°	0,00024	0,00030	0,000365	0,00038	0,000355	0,00033	

» Je passe rapidement sur la dernière question, qui est la plus importante au point de vue électrique : c'est la variation de résistance avec l'abaissement de température : cette variation de résistance est excessivement élevée dans les métaux purs ; dans les alliages, au contraire, cette résistance est beaucoup plus faible, comme on le savait pour les températures ordinaires. Mais, pour les métaux, elle est tout à fait particulière pour chaque espèce de métal ; bien que la loi semble être la même pour tous, il y a des écarts extrêmement grands suivant la nature de ces métaux : ainsi pour le cuivre, par exemple, qui est moins variable que les autres métaux, voici les résultats que nous avons obtenus avec M. Arma-

Résistances.

Nature.	Diamètre.	Résistivité		R.	t.	Acide CO ² .	Air liquide.	Coeff. moyen entre	
		microhms cm.						+ 20 et - 190.	
	mm		°		°				
Cuivre	0,188	1,72	20	1,162	19	0,682	0,170	0,00427	16 janvier 1902.
Or	0,3	2,68	17	0,671	»	0,458	0,233	0,00326	
Argent	0,22	1,62	17	0,793	»	0,493	0,166	0,00395	
Platine pur écroui.....	0,50	10,90	18	0,848	»	0,538	0,199	0,00382	
Le même recuit	0,50	10,62	18	0,847	»	0,533	0,177	0,00396	
Platine iridié?.....	0,50	27,7	18	2,317	»	2,081	1,813	0,00110	
Platine rhodié?.....	0,50	27,4	18	2,123	»	1,888	1,616	0,00120	Autre provenance, 23 janvier 1902.
Platine pur	0,505	10,70	21	1,005	17	»	0,225	0,00390	
Platine rhodié	0,51	»	»	2,583	»	»	1,983	0,00116	

Couples thermo-électriques.

	T. ambiante.	Air liquide.	Acide CO ² .	Eau bouillante.	Soufre.	Or.
Platine-Platine iridié.	19°	-0 ^{vol} ,001255	-0 ^{vol} ,000850	+0 ^{vol} ,001150	+0 ^{vol} ,006750	+0 ^{vol} ,018600
— Platine rhodié.	»	-0 ^{vol} ,001090	-0 ^{vol} ,000755	+0 ^{vol} ,001035	»	»

» Je vais vous montrer les phénomènes en bloc.

» Voici une petite bobine en fil de cuivre qui présente en-

viron 80 ohms de résistance : nous allons faire passer un courant provenant d'un accumulateur dans son intérieur et la valeur du courant sera indiquée par le déplacement de cette aiguille (projetée sur la toile) de galvanomètre :

» Je plonge cette bobine dans l'air liquide, et vous voyez que le courant augmente.

» On trouve environ six pour le cuivre, c'est-à-dire que sa conductibilité à -190° devient un peu plus de six fois sa conductibilité à zéro.

» Je vais vous montrer le phénomène d'une façon plus nette avec ces lampes à incandescence.

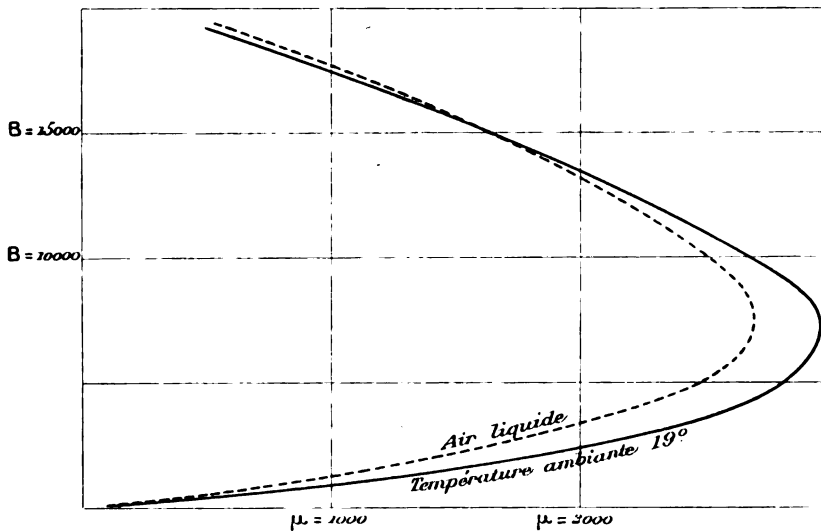
» Voici une résistance d'environ 100 ohms que nous allons intercaler sur le circuit : nous sommes à peine au rouge ; je plonge la résistance dans l'air liquide, et les 10 lampes de 16 bougies 110 volts présentent un vif éclat.

» D'après un dernier travail de Dewar, cette résistance va graduellement en diminuant à mesure qu'on se rapproche de zéro ; mais lorsqu'on arrive à 250° au-dessous de zéro, cette courbe n'est plus une ligne droite et va en diminuant de moins en moins, de sorte que cette conductibilité à zéro n'est pas une quantité absolue ; il y a encore une résistance. A la température d'ébullition de l'hydrogène liquide, la résistance du cuivre deviendrait 105 fois moindre.

» Je terminerai cette Communication en vous rendant témoins du magnétisme de l'oxygène et en vous montrant que ce corps s'attache aux pôles de l'aimant avec une force assez grande pour contrebalancer l'influence de la pesanteur ; et l'on a ainsi la possibilité de séparer, de trier l'oxygène et l'azote qui n'est pas magnétique, à l'aide de l'aimant, comme on trie de la limaille de cuivre et de la limaille de fer.

« On y arrive encore mieux en évaporant dans le vide l'air liquide jusqu'à la température de solidification de l'azote : à ce moment, il suffit de présenter cette gelée aux pôles d'un aimant pour que le liquide sorte des mailles de l'azote qui l'enveloppe et se fixe sur les pôles de l'aimant. Ce fait est dû à ceci : la tension de vapeur de l'azote est beaucoup plus élevée que celle de l'oxygène bouillant dans le vide, de sorte que, à un moment donné, l'oxygène ne s'éva-

Fig. 3.



Variation de la perméabilité du fer doux à la température ambiante et dans l'air liquide.

Fig. 4.

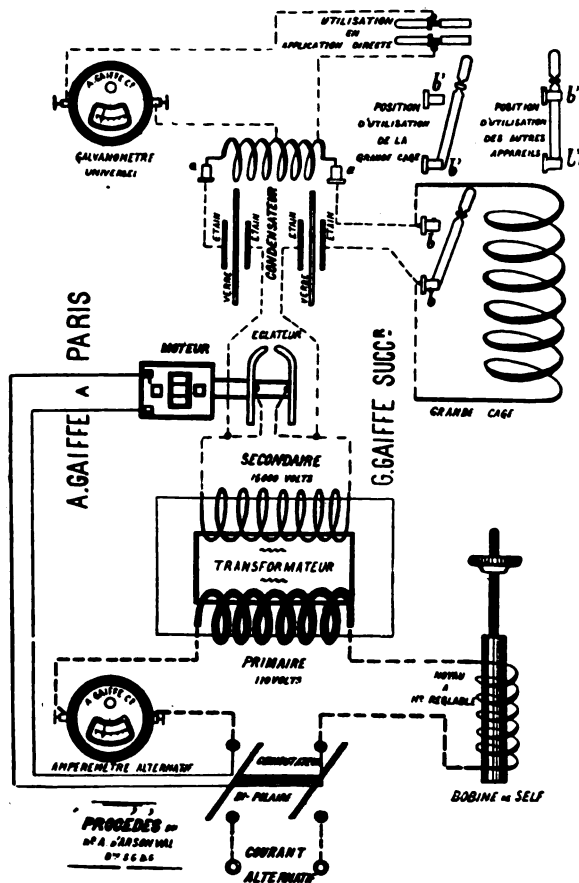


Table d'expériences de haute fréquence, avec éclateur tournant.

pore plus, tandis que, l'azote continuant à s'évaporer, c'est lui qui se solidifie et l'oxygène reste à l'état liquide.

» *Expérience.* — L'air liquide s'accroche aux pôles de l'aimant, et si je romps le courant de l'électro-aimant, tout va tomber.

» J'ai oublié de vous dire que l'air liquide est un excellent isolant et, à ce point de vue, présente une résistance extrêmement élevée au passage de l'étincelle : de sorte que, si vous prenez une bobine donnant 50^{cm} d'étincelles, que vous plongiez l'extrémité de cette bobine dans l'air liquide, les étincelles n'éclatent même pas à 5^{mm}.

» On peut montrer l'action isolante de l'air liquide avec les courants de haute fréquence : ceci est une réduction de la bobine de Tesla : le primaire est à l'intérieur, le secondaire à l'extérieur; elle est placée dans une caisse en bois que je remplis d'air liquide, et vous verrez que cet air liquide joue plus efficacement le rôle d'isolant que l'huile de paraffine : nous avons ici un appareil de haute fréquence (*fig. 4*) constitué par un transformateur de 15000 volts alternatifs qui charge un condensateur plongeant dans l'huile. Deux tiges constituent l'interrupteur. Au lieu de souffler l'étincelle, comme le fait Thomson, par un jet d'air, ou par un champ magnétique comme Tesla, je souffle l'étincelle en faisant tourner les électrodes : c'est plus économique et plus efficace. Cela a encore cet avantage que vous pouvez voir les intermittences du courant, et si vous connaissez la vitesse de rotation, vous pouvez arriver à les compter.

» Nous allons remplacer le solénoïde par le primaire de cette bobine et verser de l'air liquide (*expérience*).

» Enfin, une dernière expérience vous montrera comment je prépare l'ozone à un état qui permet de l'obtenir sensiblement inoffensif; nous l'obtenons ici à l'état liquide en dissolution dans l'air liquide; nous avons un transformateur de 15000 volts qui actionne un appareil ozoneur de Berthelot, dans l'intérieur d'un autre vase nous allons mettre l'air liquide, faire passer l'oxygène dans l'ozoneur, et au bout de très peu de temps vous allez voir l'ozone à l'état liquide de couleur bleue caractéristique couler le long du tube, et se dissoudre dans l'air liquide en lui donnant une teinte bleue plus accusée.

» On peut ainsi arriver jusqu'à l'ozone liquide pur, dont la température d'ébullition est de — 118°, c'est-à-dire plus élevée que celle

de l'air liquide. Il n'y a donc absolument aucun danger à ce que cet ozone se décompose. Il n'en est pas de même si on le manie à sa température d'ébullition, à -118° : il détone sous l'influence du moindre choc : il suffit d'y plonger une aiguille thermo-électrique pour prendre sa température, pour qu'immédiatement il fasse explosion. En mélangeant de l'ozone liquide et de l'acétylène solide, j'ai constitué l'explosif le plus puissant que l'on connaisse, car il est constitué par deux corps endothermiques.

» On me demandait ce qu'il arriverait si l'on se versait de l'air liquide sur la main : vous le voyez, il n'arrive rien. Pourtant, si on la laissait plongée pendant longtemps, ce serait dangereux, mais si on ne la laisse pas longtemps en contact, on ne sent sur la main qu'une légère fraîcheur. Il en est de même de l'air liquide en contact avec les muqueuses : il ne produit pas de brûlure parce qu'il y a caléfaction.

» Enfin, je vous montre l'expérience des spectres d'absorption de l'air liquide ; l'air liquide est extrêmement transparent pour toutes les radiations : vous voyez deux raies caractéristiques dans les zones rouge et jaune qui sont analogues à celles que donne l'hémoglobine du sang, et une autre, particulière à l'azote, dans la zone violette.

» Ceci suffit pour vous montrer combien l'air liquide reste transparent dans les autres régions.

» J'arrête ici ces expériences pour ne pas abuser de votre patience. Je pourrais ajouter que, grâce à la température exceptionnellement basse de l'air liquide, j'ai pu facilement montrer le phénomène de Peltier. Comme vous le savez, l'effet Peltier est la résultante de deux phénomènes opposés. Le courant qui traverse la soudure (dans le bon sens) tend à la refroidir proportionnellement à la chute de potentiel EI (phénomène Peltier), mais il tend aussi à l'échauffer proportionnellement à RI^2 (loi de Joule). En refroidissant préalablement la soudure à la température de l'air liquide on diminue considérablement R et c'est le phénomène Peltier alors qui devient prédominant. J'ai proposé ce moyen il y a trois ans pour se rapprocher du zéro absolu, sans aucune prétention d'ailleurs à l'atteindre.

» Cette causerie, ai-je besoin de le dire, n'a aucune prétention scientifique et encore moins personnelle. Pour répondre à l'invitation de mon excellent ami M. Hillairet, j'ai voulu borner mon rôle

à être le Barnum de la Nature ce soir. J'ai tenu à vous montrer simplement des faits, de façon que vous puissiez les classer sous la rubrique : *Choses vues*. Mon ami Louis Olivier, qui connaît (et pour cause) ma répulsion invincible à mettre la main à la plume, nous a envoyé ce soir un sténographe. Je verse au *Bulletin* sa prose et mes incorrections de langage telles quelles. Ce compte rendu sera plus nature et ma paresse y trouve son compte. Quand je pourrai vous montrer l'hydrogène liquide, nous reprendrons bien des points laissés ce soir dans l'ombre et nous verrons quel avenir économique et social est réservé à l'emploi de ces basses températures. »

M. le PRÉSIDENT. — « Je remercie notre ancien président, M. le Docteur d'Arsonval, de la très belle conférence qu'il a bien voulu nous consacrer sur l'air liquide et les basses températures, à l'étude desquels il a contribué avec le succès que nous savons. Une bonne partie des expériences qui nous ont été montrées ont fait, ce soir, en notre honneur, leur première sortie du Laboratoire.

« Maintenant nous pouvons nous faire une idée assez exacte de ce que devient l'état physique des corps dans le voisinage et même au delà de -200° , alors qu'il y a peu de temps encore nous ne pouvions en préjuger que par des extrapolations calculées, et encore bien mal calculées, puisque les coefficients spécifiques varient, à ces basses températures, dans une mesure que nous ne pouvions soupçonner auparavant.

« La Société internationale des Électriciens sera donc très reconnaissante à M. le Docteur d'Arsonval de la sollicitude qu'il vient de lui témoigner. »

NOTE SUR LES ESSAIS DES CABLES ÉLECTRIQUES.

(Présentée par M. Blondin.)

M. CHARPENTIER. — « Dans un article paru dans le numéro du 15 février de l'*Éclairage électrique*, j'avais présenté quelques notes sur les essais d'isolement, lorsque j'eus connaissance de la discussion du rapport de M. Sartiaux, à la *Société Internationale des Électriciens*. L'impression qui se dégage de cet échange de vues est que l'on commence à se rendre compte du degré élevé d'arbitraire qui a présidé, jusqu'à présent, à l'établissement de l'isolement des canalisations.

» L'introduction, dans les canalisations destinées à des tensions de jour en jour plus élevées, de matériaux qui, tout en présentant des résistances d'isolement inférieures à celles que l'on est habitué de rencontrer même dans les câbles de basses tensions, offrent à l'étincelle de rupture des résistances bien supérieures, n'est pas étrangère à cette nouvelle manière de voir.

» *Degré élevé d'arbitraire des règlements actuels.* — La notion de résistance d'isolement, telle qu'elle s'est acclimatée dans l'industrie, au moins pour les transports puissants d'énergie, est le résultat d'une tendance exagérée à considérer l'isolement d'un câble, donné par les mesures courantes, comme une représentation commerciale et une garantie de son bon fonctionnement. Les progrès du courant alternatif ont fait justice de cette manière de voir : l'industriel qui emploie des courants alternatifs à haute tension s'inquiète, avant tout, de savoir si les câbles qu'on lui fournit se comporteront bien au point de vue de la conservation du diélectrique, et, s'il parle de résistance d'isolement par kilomètre, dans son cahier des charges, il semble que la routine est le seul mobile de ce surcroît d'exigences. Dans la pratique des stations centrales, même à courant continu, on a souvent relégué la question de l'isolement à l'arrière-plan : pourvu que sa canalisation ne lui donne pas d'autres soucis, le chef de station s'inquiète peu de ce que le taux d'énergie perdue par défaut d'isolement soit de $\frac{1}{1000}$ ou de $\frac{1}{100}$;

ce taux est autrement élevé dans les distributions de gaz, et, contrairement à ce qui arrive pour l'électricité, les fuites de gaz sont presque entièrement imputables à la distribution et non aux appareils d'utilisation. Il me serait possible, pour caractériser cette insouciance des électriciens, de citer plusieurs stations importantes qui fonctionnent depuis des années avec un pôle à la terre, et je suis assez disposé à croire que, si un fabricant pouvait garantir à la plupart des stations de petites villes une perte par défaut d'isolement de $\frac{1}{1000}$ seulement dans la canalisation, avec une sécurité absolue dans le fonctionnement du réseau, ce fabricant serait certainement le bienvenu. Or, dans une station de 1000 kilowatts à 250 volts, avec 50^{km} de canalisation, cette condition équivaldrait à un isolement kilométrique de 50000 ohms seulement. Je me propose d'examiner tout à l'heure comment cette opinion, si subversive qu'elle puisse paraître, n'a cependant rien de paradoxal. Comme je l'ai fait entendre au début, le luxe de prescriptions que l'on voit déployer dans les cahiers des charges et les règlements administratifs ou privés ne me semble pas reposer sur une base rationnelle d'appréciation de la valeur d'une canalisation.

» *Des conditions à remplir par l'isolant d'un câble.* — Que doit-on, en somme, exiger d'une canalisation, au point de vue spécial où nous nous plaçons ?

» 1° Une perte d'énergie maxima fixée à l'avance pour chaque cas particulier ; 2° sa conservation et la sécurité de son emploi.

» N'est-il pas regrettable que l'on ait mis tant de persévérance à vouloir ramener ces notions si simples à celles de grandeurs les moins bien définies de la science électrique et soumettre, à tout prix, à des mesures précises, ceux des phénomènes physiques qui, peut-être, s'y prêtent le moins ?

I. — DE LA PERTE DE COURANT MAXIMA.

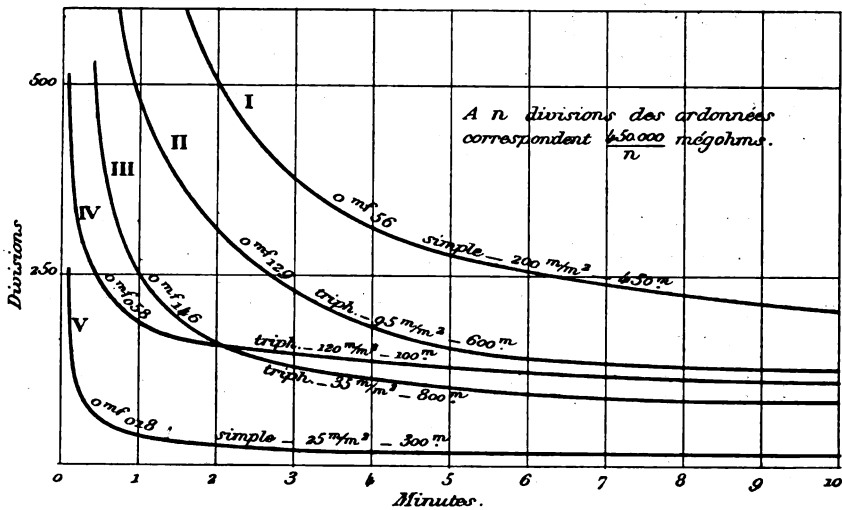
» J'examinerai d'abord la question de la perte de courant par défaut d'isolement dans un câble destiné au courant continu.

» Pour apporter quelque clarté dans la discussion, il me paraît indispensable de revenir aux définitions fondamentales et aux prin-

cipes qui ont servi à établir les méthodes actuelles de mesure des isolements.

» *Conducteurs et diélectriques.* — Au point de vue de la conductibilité électrique, il n'y a à distinguer, dans l'échelle des corps chimiquement purs, que deux catégories : 1° les corps qui conduisent l'électricité sous forme d'un régime permanent quand on établit entre deux de leurs points une différence de potentiel

Fig. 1.



Variations de l'isolement avec la durée de charge et suivant la capacité.

constante; 2° les substances qui, dans les mêmes conditions, se polarisent simplement, *sans devenir le siège d'un régime de courant, si petit qu'il soit.*

» Cette dernière catégorie mérite seule le nom de *diélectriques* et les substances isolantes qu'emploie l'industrie ne sont, en réalité, qu'un mélange de corps de la première et de la seconde catégorie. (Théories de Maxwell et de Hess.)

» Ainsi, si l'on soumet une couche très mince d'un diélectrique, placée entre deux armatures métalliques, à une différence de potentiel constante, après un temps plus ou moins long, le galvanomètre le plus sensible placé sur le circuit sera incapable de déceler la moindre trace de courant. Au contraire, si nous prenons un câble de fabrication courante, le courant du galvanomètre en fonction du temps ne tend pas vers zéro, mais semble bien avoir une asymptote

parallèle à l'axe des temps. Les courbes de la figure 1 tendent à confirmer ce résultat, déjà au bout de 10 minutes de charge.

» *Conception de la constitution des isolants industriels.* — Dans le cas du diélectrique parfait, les physiciens nous enseignent qu'il n'y a pas de pénétration de la charge, qui est tout entière répartie à la surface du diélectrique. Il est donc rationnel d'admettre que, dans l'isolant du câble, il y a d'abord une pénétration de la charge à la faveur de particules conductrices disséminées dans la substance isolante, et qu'il peut même y avoir des filets conducteurs de dimensions moléculaires qui réunissent les armatures de la gaine isolante. Dès lors, quand on appliquera une différence de potentiel à un câble, le galvanomètre donne d'abord passage au déplacement électrique provoqué par la polarisation et dont la durée peut être d'ailleurs très grande. Cette polarisation se ralentit de plus en plus, et le courant de déplacement tend vers zéro; s'il existait seul, les courbes de la figure devraient être asymptotes à l'axe des temps; s'il n'en est pas ainsi, c'est qu'il s'établit un véritable régime permanent à travers les filets conducteurs, régime qui, à la fin du phénomène, subsiste exclusivement.

» *Régime permanent.* — Quoi qu'il en soit des hypothèses que l'on peut imaginer, pour expliquer la persistance du courant dans les isolants industriels, il ne me paraît pas contestable qu'un régime pratiquement permanent s'établit dans l'enveloppe isolante d'un câble soumise à une différence de potentiel constante, et ce phénomène est le seul qui soit susceptible de conduire à la notion de résistance d'isolement d'une substance qui, si elle n'est pas un corps pur et homogène, se présente du moins sous forme de mélanges de constitution uniforme (¹).

» *Définition rationnelle de la résistance d'isolement.* — J'appellerai donc *résistance d'isolement d'un câble* le quotient de la différence de potentiel constante appliquée aux armatures de l'isolant par le courant pratiquement permanent qui s'établit, à travers la gaine isolante, après un temps suffisant de charge.

(¹) Voir AYRTON et PERRY, *Proc. Roy. Soc.*, t. XXXVII, et l'*Écl. él.*, t. XXX, n° 9.

» On comprend aisément pourquoi j'insiste sur les mots : *pratiquement permanent*; puisque rien ne prouve que, même dans les isolants industriels, un régime *théoriquement permanent* s'établit.

» *Définition de l'époque du régime permanent.* — S'il est nécessaire de donner une définition concrète à cette expression, on peut imaginer que l'on ait construit la courbe $i=f(t)$ qui représente la variation du courant de fuite en fonction de la durée de charge, en prenant pour unités, 10^{-8} ampère (100 volts : 10 000 mégohms) et la seconde; et l'on admettra que le régime permanent sera pratiquement atteint quand $\frac{di}{dt}$ sera $\leq \frac{1}{100}$. Cette rigueur de définition n'est cependant pas nécessaire pour des mesures industrielles; toutes les personnes familiarisées avec les essais d'isolement par la méthode de la déviation apprécieront aisément à quel moment le régime peut être considéré comme permanent.

» *Conditions pratiques d'un câble en service.* — L'idée de ramener la notion de résistance d'isolement à celle du régime quasi permanent est d'autant plus justifiée qu'un câble de distribution de courant continu en service est, en réalité, soumis à une différence de potentiel constante pendant des périodes de temps très longues, souvent pendant des années. Il est donc bien dans les conditions où le régime permanent s'établit, et son isolement ne peut être conçu d'une autre manière que celle dont je l'ai défini. Il ne peut plus être question, ici, de durée de charge comme dans l'essai avec le galvanomètre; la charge est pour ainsi dire indéfinie; la perte de courant et d'énergie à laquelle donne lieu l'isolant d'un câble en service est seulement celle qui correspond au régime pratiquement permanent.

» *Arbitraire de la définition usuelle de l'isolement.* — Si l'isolant est constitué avec des diélectriques chimiquement purs, il n'y a pas de régime permanent et même pas de pénétration de la charge, par suite pas de perte d'énergie. L'isolement est infini.

» N'est-il pas singulier de dire, d'un câble constitué de cette façon, qu'il a un isolement de 1000 ou 2000 mégohms, uniquement

parce que, après 1 ou 2 minutes de charge, l'appareil d'essai indique un courant correspondant à ces résistances d'isolement, alors que, après 10 ou 15 minutes de charge, il est admis que le diélectrique n'est plus le siège d'aucun courant appréciable, et alors que ce sont là les véritables conditions de service du câble ?

» De même, si le courant à travers les isolants usuels correspond, en réalité, après 15 ou 20 minutes de charge, à une résistance d'isolement de cinquante à cent mille mégohms, et si ce courant est bien celui qui représente la perte d'énergie qui résulte de l'emploi d'un câble isolé avec cette substance, dans un service continu, est-on bien fondé à dire que ce câble a une résistance de 500 mégohms, parce que le courant qui est observé au galvanomètre, après une minute de charge, a la valeur correspondant à cet isolement ? Quel renseignement peut-on déduire de ce résultat d'une mesure effectuée dans des conditions, déterminées arbitrairement, d'une part, et qui n'ont, d'autre part, qu'un rapport très mal défini avec celles dans lesquelles le câble doit être utilisé ? C'est ce que je me propose d'examiner maintenant.

MESURE DE LA RÉSISTANCE D'ISOLEMENT DÉFINIE CI-DESSUS.

» *Méthode rationnelle.* — J'ai essayé de définir, dans ce qui précède, la résistance d'isolement d'un câble telle qu'il faut l'entendre en pratique, c'est-à-dire au point de vue de la perte effective de courant qui existe quand le câble est en service, et je suis amené, naturellement, à m'occuper de la mesure d'une grandeur maintenant bien déterminée. Parmi les méthodes de mesure des grandes résistances, il n'en est qu'une seule qui s'adapte immédiatement aux définitions que je viens de donner, c'est la méthode de comparaison ou de la déviation. On me donne un câble destiné à une tension déterminée et l'on me demande quelle résistance son isolant va offrir au passage du courant dans le service continu auquel il est destiné. Je mets, en série avec l'isolant du câble, une source de courant constant possédant une force électromotrice égale à la tension de service donnée, et un galvanomètre qui me donnera à chaque instant la valeur du courant de circulation, après que je l'aurai étalonné d'une façon quelconque.

Quand le régime permanent sera pratiquement établi, le quotient de la différence de potentiel aux bornes de l'isolant par le courant de circulation me donnera la résistance d'isolement demandée. Je n'insiste pas sur les détails de l'évaluation de ce quotient, qui sont connus de tout le monde.

» Toute autre méthode de mesure de l'isolement ne me semble susceptible d'aucune interprétation rationnelle. Pour ne parler d'abord que de la méthode de la déviation, je ne vois pas à quelle notion précise on peut rattacher la nécessité d'imposer une durée de charge déterminée pour la lecture de tous les isollements. Au point de vue absolu, c'est là une exigence arbitraire et sans aucun fondement. On ne conçoit pas que l'on puisse mesurer une grandeur pratiquement bien définie, à un moment où elle subit des variations accidentelles et alors que les lois de ces variations sont d'une complexité inextricable et d'ailleurs totalement inconnues.

» *Signification des mesures usuelles par rapport à la valeur du câble.* — Au point de vue pratique, on me dira que la manière usuelle de procéder reste un élément précieux de comparaison des isollements entre eux. Ainsi, si je fabrique un câble d'une certaine manière et s'il me donne un isolement de 500 mégohms par une lecture effectuée après 1 minute de charge, je suis fondé à dire que, si ce câble me donne toute satisfaction dans le service auquel je le destine, tous les câbles fabriqués de la même manière et présentant le même isolement, ou un isolement supérieur, seront également appropriés au même service. Je n'admets pas cette proposition sans quelques restrictions sur lesquelles je vais revenir tout à l'heure. Mais la question n'est pas là; il s'agit de savoir quel rapport il y a entre cette mesure d'isolement et la valeur de fonctionnement du câble. Il est bien possible que je possède là un moyen suffisant pour me rendre compte de ma fabrication; mais, qu'un preneur vienne me dire que mes câbles doivent avoir 500, 1000, 2000 mégohms au kilomètre après 1 minute, pour lui convenir, sans s'inquiéter de savoir comment je les fabrique, sans me demander si je puis lui faire des câbles qui n'auront que 100 mégohms et qui lui donneraient cependant toute satisfaction, il me semble qu'il y a là un abus contre lequel tous les gens de progrès doivent protester.

» *Erreur introduite par la fixation de la durée de charge au point de vue de la perte de courant.* — En effet, si l'on examine les courbes de la figure 1, on constate que l'isolement mesuré au bout de 1 minute est jusqu'à 3, 4 et 10 fois moindre qu'après 10 minutes de charge. D'une façon générale, l'isolement correspondant au régime permanent, le seul qui doive être considéré au point de vue de la perte d'énergie, est toujours beaucoup plus fort que celui que donne la mesure après 1 minute de charge.

» *Erreur due à l'influence de la capacité sur l'allure de la période variable.* — Mais il y a encore d'autres raisons pour rejeter toute mesure d'isolement effectuée pendant la période variable. Les personnes qui ont eu à mesurer des isolements sur des lignes très étendues savent fort bien que le régime permanent est très long à s'établir, et d'autant plus que la capacité de la ligne est plus forte. Les courbes de la figure mettent ce résultat en évidence; le régime permanent est atteint d'autant plus rapidement que la capacité est plus faible. En particulier, les courbes III et IV montrent quelle erreur on fait en attribuant, après 1 minute, au câble IV, un isolement de 20 pour 100 supérieur à celui du câble III, alors qu'au bout de 10 minutes de charge, c'est au contraire le câble III qui a un isolement de 25 pour 100 supérieur à celui du câble IV. L'allure des courbes, pendant les 3 ou 4 premières minutes, indique une dissimilitude complète entre les formes des fonctions des courants de charge pour les différents câbles. Ce n'est que dans les régions les plus éloignées, vers la droite de la figure, que l'on peut trouver une base de comparaison entre les différents isolements. De plus, la longueur sous laquelle l'isolement est mesuré a une importance capitale sur l'allure des courbes pendant la période variable. Il peut, par conséquent, arriver que des câbles essayés en fabrication sous des longueurs de 100^m aient un isolement kilométrique de 500 mégohms après 1 minute de charge, tandis qu'après la pose, une ligne de plusieurs kilomètres présentera un isolement kilométrique beaucoup plus faible, uniquement parce que la forme de la courbe de courant est modifiée par la capacité pendant la période variable.

On imagine aisément à quelles contestations interminables on est amené, si l'on veut s'en tenir à la lettre d'un cahier des charges qui

exige un isolement kilométrique de tant de mégohms après 1 minute de charge, sans spécifier les longueurs sur lesquelles l'essai doit être pratiqué. La vérité est que l'on s'accorde communément pour dénier aux mesures d'isolement actuelles une rigueur qu'elles ne sauraient mériter.

» *Exagération de la résistance d'isolement admise actuellement. Perte d'énergie de $\frac{1}{1000}$ dans la canalisation.* — En résumé, dans l'établissement des cahiers des charges, on ne doit envisager que les fuites de courant dans l'ensemble des câbles, quand on parlera de résistance d'isolement. Une station qui compte sur une perte d'énergie de 2 pour 1000 dans l'ensemble des isolants de sa distribution, extrémités et appareils compris, peut demander que l'isolant des câbles entre pour $\frac{1}{1000}$ dans ce chiffre. Il est, en effet, bien inutile de s'acharner sur l'isolement des câbles, toute question de sécurité et de conservation à part, si c'est pour arriver à fonctionner avec un pôle à la terre, ou avec des isollements d'ensemble de 20 000 à 30 000 ohms. Je pourrais citer des lignes de tramways avec feeders qui, sur une longueur de 5^{km}, présentent des isollements tout au plus supérieurs à 10 000 ohms, grâce aux nombreuses dérivations qui se produisent sur des connexions; ces lignes fonctionnent parfaitement. Or, les feeders sont des câbles armés, ayant un isolement de 1500 à 2000 mégohms, soit peut-être plus de 20 000 mégohms en service continu, ou 4000 mégohms pour les 5^{km}. Au point de vue strict de la perte d'énergie dans les isolants, pourquoi faut-il que les feeders offrent aux fuites une résistance 400 000 fois plus forte que le reste de la ligne et de l'installation ?

» *Critique de la méthode de perte de charge.* — Avant de parler du second *desideratum* à réaliser dans une fourniture de câbles, à savoir la conservation et la sécurité de fonctionnement, je dirai quelques mots des autres modes de mesure des isollements. Dans l'article précité de l'*Éclairage électrique*, je me suis étendu plus longuement que je ne puis le faire ici sur la méthode de perte de charge. Je dirai seulement que les résultats que donne cette méthode n'ont aucun rapport avec ceux de la méthode de déviation. Avec cette dernière méthode, on suit le phénomène du courant de fuite pas à pas, et, si

l'on a tort de prendre la lecture après 1 minute de charge, comme je l'ai dit, on peut néanmoins se rendre compte de ce que l'on mesure. Dans la méthode de perte de charge, au contraire, on effectue une sorte d'intégration d'un phénomène dont la fonction est essentiellement capricieuse et inconnue. On laisse un condensateur étalonné se décharger sur un câble, d'où un mélange inextricable de courants de déplacement et de courants de fuite, à travers les isolants, à la fois, du condensateur et du câble. Aussi l'équation différentielle fondamentale qui, avec les hypothèses par trop simples que l'on fait ordinairement, serait

$$dt = -Cx \frac{dE}{E},$$

est, en réalité, de la forme

$$dt = -C \frac{\varphi(t)f(t)}{\varphi(t) + f(t)} \frac{dE}{E},$$

où $f(t)$, $\varphi(t)$ désignent les fonctions inconnues du temps qui représentent les variations des résistances d'isolement du câble et du condensateur.

» *Emploi rationnel de cette méthode pour la mesure des isolements en régime permanent.* — Pour remédier à cette complexité et ramener cette méthode de mesure à la notion de régime permanent, j'ai proposé la façon de procéder suivante :

» On commence par mesurer exactement la capacité du câble en essai, puis on lui applique une tension déterminée. On laisse le câble se décharger à travers son isolant pendant 8 minutes dans une première expérience et pendant 10 minutes dans une autre; on prend l'élongation au balistique après chaque expérience. Le câble se trouve dans les conditions de régime permanent; la perte de charge est bien réellement due au courant qui tend à s'établir à travers l'isolant, et les équations ordinaires sont applicables. La vérité est que, d'après un ensemble de mesures que j'ai effectuées en procédant ainsi, il n'y a plus de perte de charge appréciable au bout de 5 à 6 minutes, alors que, par la méthode de la déviation, on obtient encore un courant sensible après 15 minutes ou 20 minutes de charge, la tension d'essai étant la même dans les

deux cas. Ceci confirme mon opinion, que les méthodes de perte de charge sont impropres à la mesure des isollements industriels, quelle que soit, d'ailleurs, leur valeur, en tant que mesure de comparaison entre différents échantillons de substances isolantes.

» *Impossibilité de donner le même isolement usuel aux câbles de différentes sections.* — Enfin, pour montrer ce qu'il y a d'arbitraire et d'inconséquent à fixer une même durée de charge pour tous les isollements, je citerai l'exemple suivant :

» Considérons un conducteur de 5^{mm} entouré d'une gaine isolante de 3^{mm} d'épaisseur, et un deuxième de 1000^{mm}, isolé de la même façon. Après deux minutes de charge, le premier aura un isolement kilométrique de 50000 mégohms, le deuxième un isolement de 500 mégohms seulement⁽¹⁾. Ces nombres sont une moyenne de ceux que l'on rencontre en pratique et n'ont rien d'étonnant si l'on se rappelle l'énorme influence de la capacité sur la variation du courant de fuite dans les premières minutes de la charge. Or je me demande en quoi ces câbles peuvent différer au point de vue de leur bon fonctionnement; l'isolement par unité de surface du conducteur est le même, l'échauffement sera le même si l'on prend des densités de courant convenables, et la résistance à la rupture est encore la même. Pour le câble de 500 mégohms comme pour celui de 50000 mégohms, la perte d'énergie sera négligeable en service continu; si, d'autre part, on admet que l'épaisseur de 3^{mm} d'isolant est nécessaire pour la conservation du câble, elle est aussi nécessaire pour le câble de 5^{mm} que pour celui de 1000^{mm}; mais que vient faire là l'isolement mesuré après 1 minute de charge? Du reste, en pratique, on donne à tous les câbles d'un réseau la même épaisseur d'isolation, sans s'inquiéter, ni de la section des câbles, ni de la longueur sous laquelle sera mesuré leur isolement, ce qui, ainsi

(1) Si la résistance du diélectrique suivait la loi de Pouillet, ce qui n'est probable que pour le régime permanent, le rapport des isollements serait, non pas $\frac{100}{1}$, mais

$$\frac{\log_e D}{\log_e} = \frac{\log_e \frac{8,5}{2,5}}{\log_e \frac{4^2}{36}} = \frac{8,2}{1}.$$

que je l'ai montré, a cependant une influence capitale sur le résultat. Le fabricant prend seulement ses dispositions pour que ses câbles aient l'isolement voulu, si on lui en a demandé un, et l'on a vu qu'il s'expose souvent à de sérieuses méprises, s'il se fie aux essais de fabrication effectués sur de faibles longueurs.

II. — CONSERVATION ET SÉCURITÉ.

» La mesure des isollements, entendue comme je l'ai dit, présente une base d'appréciation sérieuse, aussi bien pour le fournisseur que pour l'acheteur, quant à la perte d'énergie en service. Offre-t-elle en même temps une garantie pour le bon fonctionnement et la conservation du câble? c'est ce que je veux examiner brièvement.

» On possède peu de données sur l'influence d'une action électrique prolongée, sur les isolants usuels. D'une façon générale, je ne crois pas beaucoup à une modification appréciable de l'isolant par le passage du courant excessivement faible du régime permanent. Dans les isolants à base d'hydrocarbures, il importe peu qu'il y ait une transformation chimique, si le composé résultant est un isolant aussi bon que la substance primitive. A ce point de vue, il serait intéressant de savoir si l'action prolongée du courant modifie les propriétés isolantes des substances usuelles réduites en couches de plus en plus minces, ou, plus généralement, quel est le courant de régime que des isolants de plus en plus défectueux peuvent supporter, sans altération de leurs propriétés isolantes.

INTÉRÊT DE L'ABAISSEMENT DES ISOLEMENTS IMPOSÉS.

» Au lieu d'imposer au constructeur un isolement arbitraire, ne vaudrait-il pas mieux lui laisser les coudées franches et lui permettre de diminuer de plus en plus l'épaisseur des gaines isolantes et, par suite, le prix des câbles? Si une simple bande de papier paraffiné ou de toile imprégnée d'huile de lin cuite présente une résistance à la rupture de 2000 à 3000 volts, un câble isolé simplement de cette manière n'est-il pas suffisant pour un réseau de 110 volts? Il est vrai que la capacité de ce câble sera très élevée,

et, si l'on prend l'isolement au bout de 1 minute de charge, on trouvera de 10 à 50 mégohms au kilomètre. Mais on sait maintenant ce qu'il faut penser de cet isolement, qui sera, en réalité, 10 ou 20 fois plus fort après 10 minutes de charge, ou en régime permanent, sans oublier qu'un isolement de quelques mégohms est largement suffisant pour une foule d'applications.

» Les essais, tels qu'ils ont été généralement imposés, empêchent absolument tout progrès; ils limitent le choix des isolants à quelques substances très coûteuses et très difficiles à obtenir à peu près pures et homogènes. Quand on voudra bien ne plus se préoccuper d'un isolement qui ne signifie rien, mais rechercher, parmi toutes les substances, celles qui offrent les meilleures garanties de durée et de sécurité, tout en présentant, sous des épaisseurs de plus en plus minces, la perte d'énergie maxima à laquelle peut consentir une station centrale, on aura fait un grand pas dans la simplification et la diminution du prix des canalisations.

ESSAIS PRATIQUES.

» Un câble n'est, en somme, construit que pour fonctionner avec une tension et un courant toujours connus à l'avance, du moins pour le courant continu. L'effet du courant sur l'isolation est uniquement de l'échauffer, et la température atteinte varie dans des limites assez restreintes, pour les différents réseaux, en charge maxima.

» En se basant sur les essais des télégraphistes, on a introduit, dans les cahiers des charges, des températures de 15° à 20° comme conditions de l'essai d'isolement, alors qu'en pratique les câbles de transport d'énergie atteignent des températures de 30°, 40° et davantage.

» Il y aurait, sans doute, un grand intérêt à connaître exactement la température maxima atteinte dans un câble en service continu, avec les densités de courant admises ordinairement. On pourrait alors spécifier la température à laquelle l'essai d'isolement doit être effectué et étudier, avant d'adopter un isolant, la variation de ses propriétés avec la température.

» Mais il est assez difficile d'évaluer la température d'un câble et

je proposerais une épreuve beaucoup plus pratique et plus concluante : ce serait de faire passer, dans chaque câble en essai et pendant un temps convenable, le courant maximum qu'il a à supporter en service. Cet essai peut se faire sans grande dépense d'énergie, au moyen des diverses sources de grandes intensités, à bas voltage, que possède l'industrie, telles que transformateurs, machines *unipolaires*, etc. En isolant convenablement ces appareils, il serait possible de mesurer, pendant le passage même de ce courant, la résistance d'isolement telle que je l'ai définie, et de soumettre l'isolant à une tension double ou triple de la tension de service. Mais ces essais pourraient, aussi, être consécutifs l'un à l'autre; le câble serait d'abord parcouru par le courant de service maximum pendant le temps voulu pour l'amener à l'échauffement normal; comme la température resterait assez longtemps stationnaire, on pourrait alors supprimer le courant, faire l'essai d'isolement, puis l'essai de tension, si c'est nécessaire.

» Si l'on veut bien se souvenir que c'est à peu près cet essai que l'on fait subir aux dynamos, transformateurs, etc., on verra qu'il n'y a pas de raison de ne pas procéder de même pour les câbles.

FACTEUR DE SÉCURITÉ DANS LES CÂBLES ARMÉS.

» *Son exagération.* — Cet essai laisserait la porte ouverte à bien des perfectionnements, puisqu'il se ferait dans les conditions mêmes de service du câble. Les canalisations actuelles pour les basses tensions pèchent, en effet, par un double excès, excès dans le bon sens, c'est vrai, mais qui ne s'inspire pas de considérations strictement économiques : au point de vue de la résistance à la rupture, cette dernière est de 10 à 20 fois plus forte qu'il n'est nécessaire, et, quant à l'isolement, j'ai montré suffisamment ce qu'il a d'exagéré dans les prescriptions actuelles. Le câble armé, pas plus que les autres produits de l'industrie, ne saurait être considéré comme l'idéal en dehors duquel il n'y pas de progrès possible; les canalisations américaines et anglaises en témoignent surabondamment. Si je n'ai pas à faire ici le procès du câble armé, je lui reprocherai cependant d'être l'inspirateur de presque toutes les prescriptions arbitraires concernant l'isolement des canalisations.

» *Desiderata d'une canalisation.* — En principe, un conducteur d'électricité, placé dans le sol, doit évidemment être : 1° isolé convenablement; 2° protégé mécaniquement contre les agents extérieurs.

» *Prix élevé des canalisations en câbles armés.* — C'est surtout en satisfaisant à la deuxième condition qu'on a été amené aux isolements exagérés des règlements; dans le câble armé, il faut une certaine épaisseur d'isolant qui permette au câble de sortir indemne des manipulations plus ou moins rudes auxquelles il est exposé, à la fabrication ou à la pose. On est limité, d'autre part, dans l'augmentation de cette épaisseur, par l'augmentation rapide du prix du câble avec le diamètre extérieur, d'où la pensée de n'employer que des isolants à résistance spécifique élevée. Mais les quelques avantages du câble armé ont trop détourné les constructeurs des conditions primitives du problème, et les bénéfices qu'ils retirent de la situation actuelle ne sont pas faits pour les décider à changer de voie. Dans une discussion comme celle-ci, il est cependant permis de regarder les choses de plus haut, d'envisager la question économique sous son point de vue général, et de ne pas se laisser distraire par les avantages momentanés qui, quand tous les grands centres seront munis de réseaux, amèneraient une stagnation forcée des affaires. Le prix élevé des canalisations est le grand obstacle au développement de l'électricité dans les petites villes : pour un réseau souterrain, la dépense est à peu près la même que celle de toute la station centrale, et, quand on songe que le cuivre n'entre que pour 60 à 70 pour 100 dans cette dépense, on devine quel progrès il y aurait à faire.

CANALISATIONS RATIONNELLES.

» Une double voie semble ouverte dans ce sens :

» 1° *Large enveloppe isolante, supprimant plomb et feuillard.* — On pourrait, d'abord, entourer le cuivre d'une épaisse enveloppe d'une matière qui soit étanche, quoique médiocrement isolante, et qui puisse supporter les efforts mécaniques extérieurs, sans se fendre ni se percer facilement. Cette enveloppe serait appliquée sur le cuivre nu apporté à pied d'œuvre, et l'on aurait ainsi une fabrique

de câbles en plein air, mais qui ne demanderait qu'un matériel rudimentaire et dont la production se ferait au fur et à mesure de la pose. Les stations centrales pourraient acheter directement leur cuivre et, dans bien des cas, monter par elles-mêmes leur réseau. Ce ne sont évidemment pas les constructeurs de câbles qui pousseront dans cette voie. Ce serait plutôt aux stations à y entrer elles-mêmes. Les matériaux ne leur manqueraient certainement pas, et je ne citerai qu'à titre d'indication grossière les bitumes, le sable, l'argile, les débris de verre, les oxydes, les goudrons, les papiers et les chiffons, les sous-produits d'une foule d'industries chimiques, les pâtes de papier, de bois sec et mélangé de matières grasses, etc. Il y a là un champ de recherches largement ouvert aux inventeurs, quand on se décidera à prendre, pour base de cet isolement, la perte d'énergie maxima à laquelle on peut consentir dans la canalisation, soit, par exemple, $\frac{1}{2}$ à 1 millième de la puissance maxima prévue pour la station. Étant donnée la grande épaisseur sous laquelle on pourrait appliquer ces matériaux à bon marché, on arriverait à une régularité et à une uniformité de l'isolation qu'on obtient très difficilement avec les faibles couches isolantes des câbles armés; pour la même raison, le cuivre serait bien mieux à l'abri des actions extérieures, telles que les coups de pioche qui traversent si facilement le feuillard et le plomb; enfin, l'enveloppe de ces canalisations serait complètement à l'abri de l'électrolyse, si funeste aux câbles armés. Je laisse à chacun le soin de voir bien d'autres avantages de ce système de canalisation.

» 2° *Enveloppe isolante très mince, mais à résistance à la rupture très grande.* — Dans une voie tout opposée, mais que je crois moins sûre, on pourrait chercher à diminuer de beaucoup l'épaisseur isolante des câbles armés, en recourant à des substances qui présentent des résistances à la rupture considérables, telles que le mica et la micanite. Une simple couche de papier manille imprégnée d'huile de résine résiste à 3000 volts sous une épaisseur de 0^{mm}, 1. Je ne me dissimule pas les difficultés mécaniques qu'il y aurait à faire un câble satisfaisant avec un isolant de 0^{mm}, 1 d'épaisseur; il n'y a là qu'une indication, et, cependant, ces difficultés ne paraissent pas insolubles, si l'on ne veut pas s'astreindre, sans raison, à faire,

comme dans le câble armé, un tout rigide du conducteur et des trois ou quatre enveloppes qui l'entourent, ce qui a pour résultat de soumettre la gaine isolante à des efforts mécaniques dangereux de la part des armatures entre lesquelles elle est comprimée.

» Ce serait surtout à des recherches dans cette double voie qu'il serait utile d'employer les modes d'épreuve en fabrication que j'ai indiqués et qui placeraient réellement le câble dans ses conditions d'emploi.

» La grande objection que l'on tend à faire à l'usage des isollements faibles est qu'ils ne permettent pas de signaler les défauts dans la fabrication. D'abord, avec les grandes épaisseurs et les matériaux de qualité inférieure, il n'y a plus à s'inquiéter de défauts de fabrication ; la construction du câble se faisant entièrement à la pose et des défauts ne pouvant guère se présenter, dans une enveloppe très épaisse et constituée par des mélanges intimes de matériaux, l'essai d'isolement, précédé de l'essai de courant de service, n'aura qu'à indiquer si l'on réalise bien la perte d'énergie maxima prévue, et, comme on aura toujours une marge considérable avec des épaisseurs assez fortes, on ne court aucun risque de ce côté-là, même avec des substances très médiocres. Au contraire, avec des épaisseurs très faibles de la gaine isolante, l'essai de tension aura seul une importance notable et suffira à révéler les défauts qui seraient infailliblement brûlés sous ces faibles épaisseurs.

» Je n'ai pas l'intention, d'ailleurs, de défendre ici mes idées personnelles sur les progrès à réaliser dans la construction des canalisations ; j'ai tenu seulement à montrer, par ce qui précède, combien les règlements arbitraires, adoptés jusqu'ici, peuvent gêner le développement futur de cette branche si importante de la distribution de l'électricité.

COURANT ALTERNATIF (HAUTE TENSION).

» Dans cette tentative de ramener les principes de la fabrication et des essais des câbles à des notions plus rationnelles et plus positives, je n'ai envisagé, jusqu'à présent, que le cas des distributions à basses tensions, et plus particulièrement à courant continu, où les conditions où va se trouver le câble en service, comme courant et

comme tension, sont parfaitement définies. Le courant continu à haute tension (> 600 volts) a des applications trop rares et trop spéciales pour intervenir dans cette étude.

» *Classification au point de vue tension.* — Quant au courant alternatif, dont je vais m'occuper maintenant, je ne vois pas bien quelle peut être l'utilité d'une classification, au point de vue qui nous occupe. Je conçois très bien que, dans des prescriptions en vue de la sécurité des personnes, on parle de basses tensions, c'est-à-dire de celles qu'on peut livrer, pour ainsi dire, à la circulation, sans inconvénient, les hautes tensions étant celles que l'expérience a montrées comme dangereuses pour les personnes. Dans la pratique du courant alternatif, les hautes tensions s'appliquent au transport de l'énergie, les basses tensions aux circuits d'utilisation; telle est la seule classification qui me paraisse nécessaire. Quant à faire des classes de câbles pour les différentes tensions primaires et à introduire des prescriptions différentes pour l'isolement suivant la classe, j'y verrais plutôt un danger. Un transport d'énergie à haute tension doit être étudié en soi. La conservation d'une canalisation à haute tension dépend, dans chaque cas, de conditions qui lui sont spéciales, de sorte qu'un câble construit pour une station à 5000 volts ne convient pas nécessairement pour toutes les stations de même tension. Les constructeurs qui ont pensé établir un type uniforme pour une tension déterminée s'exposent à bien des déboires. J'aurai l'occasion de reparler de quelques-unes des conditions dont il faut tenir compte et qui se rattachent plus directement à la question de réglementation. Pour l'instant, je reviens à la question des essais des câbles à hautes tensions, et par là j'entends toutes les tensions de 2000 volts à 25000 volts, qui paraissent être les limites pratiques pour les canalisations souterraines.

» *Application de la définition de l'isolement au courant alternatif.* — En ce qui concerne la résistance d'isolement, il y a ici une grosse question. Est-il possible de définir la *résistance d'isolement* d'un câble parcouru par les courants alternatifs de fréquence usuelle? Ici, la définition ordinaire, avec durée de charge de 1 ou 2 minutes, me semble absolument inutilisable. Si

l'on consulte, en effet, les courbes que j'ai citées précédemment, on voit où en est le courant de passage après $\frac{1}{20}$ ou $\frac{1}{50}$ de seconde de charge; ce courant n'est en rien comparable au régime quasi permanent qui, logiquement, doit être pris comme base de la définition d'une résistance d'isolement. En réalité, il n'y a, dans les premiers instants, que le courant de charge du condensateur formé par le câble; je dirai même plus: la charge ne peut même pas être complète, dans $\frac{1}{20}$ de seconde, dans les longueurs courantes de câble, à plus forte raison sur des dizaines de kilomètres de réseau. C'est, je crois, la véritable raison pour laquelle les capacités mesurées au moyen d'un courant alternatif et de la formule

$$I = C \omega E,$$

ou, plus généralement,

$$I = E \sqrt{\frac{1}{\rho^2} + C^2 \omega^2},$$

ρ étant la résistance d'isolement, donnent un résultat plus faible que la mesure balistique, où la charge du câble a le temps de s'établir complètement. Il est à remarquer que les expérimentateurs adoptent tous la formule simplifiée

$$C = \frac{I}{\omega E}$$

et non

$$C = \sqrt{\frac{I^2}{\omega^2 E^2} - \frac{1}{\rho^2 \omega^2}},$$

le terme $\frac{1}{\rho^2 \omega^2}$ leur paraissant totalement négligeable ou, pour mieux dire, la résistance d'isolement ρ leur paraissant hors de la question. Si ce terme pouvait avoir la moindre influence, les valeurs de $\frac{I}{E \omega}$ devraient être, au contraire, plus fortes que celles obtenues par la méthode balistique.

» Ce que je viens de dire ne s'applique évidemment qu'aux câbles et non aux condensateurs à faible surface.

» *Perte d'énergie par défaut d'isolement.* — Ainsi, il ne peut être question, pour les câbles, de perte d'énergie due au passage du

courant alternatif à travers l'isolant; à moins que l'on n'admette que l'isolant présente bien une résistance correspondant aux asymptotes des courbes précitées, parallèles à l'axe des temps, et que le courant, observé au galvanomètre dans un essai d'isolement, soit simplement la superposition du courant du régime permanent et d'un autre qui dépend de la polarisation. C'est là une opinion qui me paraît sujette à caution, mais si, néanmoins, les résultats donnés par différents expérimentateurs et attribuant à l'isolant d'un câble une perte bien définie par effet Joule sont exacts, cela confirmerait simplement mon hypothèse du début: c'est qu'il existe dans la gaine isolante des filets conducteurs moléculaires traversant cet isolant de part en part et qui seuls doivent intervenir dans la notion de résistance d'isolement. On aurait là un moyen de vérifier si la perte d'énergie, observée dans un isolant de câble par effet Joule, correspond bien à ce que j'ai appelé *résistance d'isolement en régime permanent*, et si la perte par *hystérésis diélectrique* n'est qu'un vain mot.

» Mais, qu'il y ait ou non, dans un isolant, une résistance donnant lieu à une perte par effet Joule, quelque courte que soit la durée de charge, cette résistance est toujours assez élevée pour que la perte d'énergie soit négligeable dans les câbles de hautes tensions possédant des isollements de 1000 mégohms à 2000 mégohms (après 1 minute de charge).

» Cette perte doit être mesurée directement en fabrication, au moyen du courant alternatif, l'isolement mesuré après 1 minute de charge *n'ayant aucun rapport* avec cette perte d'énergie. Quand on aura prouvé que l'isolement *mesuré en régime permanent* est bien celui qui donne la perte par effet Joule avec le courant alternatif, j'admettrai que les mesures d'isolement ont une utilité à ce point de vue, mais celles seulement qui seront effectuées quand le régime permanent sera pratiquement établi. L'isolement pourra alors être établi par le fabricant de façon à présenter la perte d'énergie maxima demandée par l'acheteur pour sa canalisation.

» *Isolement et résistance à la rupture.* — En dehors de là, la question de l'isolement me paraît très secondaire pour les câbles à haute tension; le constructeur a une préoccupation bien plus sérieuse et une difficulté plus grave à résoudre: c'est la conservation du câble

et la préservation contre la rupture du diélectrique. Comme on l'a dit, les substances qui résistent bien à la rupture n'ont pas, pour autant, l'isolement le plus élevé. Cependant, il faut apporter quelque prudence dans cette affirmation. J'ai constaté personnellement, comme bien d'autres, que des câbles qui ont 15 000 mégohms d'isolement kilométrique n'ont pas résisté aussi bien que d'autres qui n'en avaient que 300, et cela, pour des sections, pour des longueurs égales, et avec les mêmes substances isolantes, la différence de l'isolement résultant seulement de légères modifications dans la manipulation, telles qu'un séchage plus prolongé, une plus longue immersion dans les cuves, etc.

» Ceci montre péremptoirement que l'isolement, tel qu'on le mesure couramment, n'a rien à voir avec la résistance à la rupture, dans un câble; il n'en serait peut-être pas absolument de même si l'on opérait avec des substances chimiquement pures, et en leur appliquant le mode d'essai rationnel de l'isolement que je préconise. Ces substances ont, en effet, un pouvoir inducteur spécifique différent, ce qui suffit pour que l'allure de la variation du courant de mesure avec le temps ne puisse plus servir de point de comparaison entre les divers isolants mesurés après 1 minute.

» Si, d'autre part, la faiblesse d'isolement de certaines substances, très résistantes à la rupture, résulte de filets conducteurs excessivement ténus, il n'y a plus là rien d'anormal, puisqu'il est à prévoir que, si ces substances étaient bien pures, leur isolement serait beaucoup plus élevé.

» *Épaisseur exagérée de l'isolant, comparée à la résistance de rupture.* — Ce qui confirme cette manière de voir, c'est la résistance que présentent, à la rupture, les différents isolants employés, quand on la compare aux épaisseurs énormes d'isolation nécessaires dans la fabrication des câbles à haute tension. Le papier paraffiné présente, en effet, des résistances à la rupture variant de 150 000 volts à 540 000 volts par centimètre d'épaisseur (Th. Gray); il semblerait donc que 1^{mm} d'épaisseur suffirait largement pour les tensions de 5000 à 20 000 volts, alors qu'il faut en réalité de 7^{mm} à 10^{mm} pour un câble qui doit être essayé à 12 000 ou 13 000 volts. Cela tient, évidemment, à la grande surface offerte à la rupture; dans une

couche mince d'isolant, où, d'après ce que chacun sait, la résistance à la rupture est plus forte, par unité d'épaisseur, que pour les couches épaisses, il y a au contraire plus de chances que des particules conductrices, non éliminées, servent de véhicules à l'étincelle de rupture.

» Quelle que soit la véritable raison de cette anomalie, il me semble qu'il y ait là des progrès considérables à réaliser.

» *Manque de responsabilité du fabricant.* — Si le constructeur se montre impuissant à remplir les conditions d'une ligne à haute tension, c'est une preuve de son insuffisance dans l'étude de ces conditions, et il est juste qu'il en subisse les conséquences. On a dit, à la Société internationale, que le fabricant de câbles ne pouvait être considéré comme responsable des élévations de tension qui se produisent en exploitation; d'une façon générale, je l'admets, on ne peut, en effet, incriminer aucun constructeur de la rupture de matériaux auxquels on fait subir plus que l'effort maximum prévu. Mais ces conditions sont-elles bien les mêmes dans le cas d'une canalisation à haute tension?

» Un constructeur à qui je demande une canalisation, en mettant à sa disposition toutes les données qu'il désirera, se met en bien mauvaise posture en me disant : Je vous fournis des câbles que j'ai essayés à une tension double de votre tension de service; maintenant, advienne que pourra! La vérité est que ce n'est pas à l'acheteur à indiquer au fabricant les termes et les conditions de la garantie qu'il demande, et que c'est au constructeur, au contraire, à bien définir tous les détails du contrat qui le lie à l'acheteur.

» L'acheteur est en droit d'acquérir un matériel qui fonctionne sans accident, quand il y a mis le prix; c'est au constructeur à tout étudier et à tout prévoir pour qu'il en soit ainsi quand il a accepté une commande.

MANQUE DE PRÉCISION DES CAHIERS DES CHARGES.

» Il n'est sans doute pas impossible de bien déterminer les responsabilités, mais les conditions de l'essai et du service doivent alors

être précisées beaucoup plus rigoureusement qu'elles ne le sont en général.

» Les prescriptions actuelles des cahiers des charges reposent sur des bases trop peu rationnelles.

» En ce qui concerne l'isolement, il ne doit être envisagé, je le répète, qu'en vue de la perte maxima à laquelle on consent; quant à la conservation du câble, encore plus que pour le courant continu, l'isolement est étranger à la question. Un réseau à 5000 volts d'un développement de 50^{km}, pour une puissance de 1000 kilowatts et pour une perte d'énergie de 1 pour 1000 dans la canalisation, n'a besoin que d'un isolement de 1,25 mégohm par kilomètre de ligne. Il est question de 3000 mégohms dans le rapport de la quatrième section de la Société internationale, après 2 minutes de charge sans doute, soit peut-être 50000 mégohms pour ce que j'ai appelé *isolement du régime permanent*, et qui seul correspond à la perte d'énergie, qui serait ici de $\frac{1}{10}$ de watt pour tout le réseau de câbles, soit 25 pour 1000000000 sur 1000 kilowatts. Ces chiffres montrent suffisamment combien la préoccupation de l'isolement est superflue et gêne le développement des substances à bon marché, moins isolantes, mais résistant mieux à la rupture.

» L'essai à la rupture est le seul qui mérite toute l'attention du constructeur et de l'acheteur, je crois même qu'il rend l'essai d'isolement superflu. Cet isolement sera toujours suffisant avec les épaisseurs nécessaires de l'isolant, et l'essai de tension révélera bien mieux les défauts de fabrication que l'essai d'isolement. J'essaierai maintenant de préciser comment cet essai devrait être fait pour donner lieu à une garantie rationnelle.

ESSAI RATIONNEL A HAUTE TENSION.

» On a pris, généralement, l'habitude de soumettre les câbles à une tension double, ou un peu plus, de celle qu'ils doivent supporter en service normal. L'essai se fait entre conducteurs et entre plomb et conducteurs.

» *Épaisseur d'isolation entre plomb et conducteurs.* — A ce propos, il y a lieu d'imposer la même tension pour tous les essais et, par suite,

d'exiger la même tension de rupture entre le cuivre et le plomb qu'entre les conducteurs. Il faut, en effet, que, si un conducteur se trouve mis à la terre accidentellement, les autres puissent supporter la tension totale de service. C'est une considération que les constructeurs négligent généralement, si naturelle qu'elle paraisse.

» La résistance à la rupture entre conducteurs est, en général, plus forte qu'il n'est nécessaire, dans les câbles courants, soit cinq ou six fois la tension de service; tandis qu'elle est plutôt trop faible entre plomb et cuivre. Je crois pouvoir affirmer, quoique la chose soit assez difficile à prouver, que tous les coups de feu qui se produisent sur les câbles armés à haute tension proviennent d'abord d'une décharge entre conducteurs et plomb, qui carbonise l'isolant et produit le court-circuit final entre conducteurs; le courant de décharge entre le plomb et les conducteurs est très suffisant pour produire ce résultat; un courant de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{2}$ ampère à 2000 volts ou 3000 volts carbonise complètement une gaine isolante en quelques secondes.

» L'isolant entre plomb et conducteurs est aussi plus exposé à la rupture pour plusieurs autres raisons. D'abord, la capacité entre cuivre et plomb est, *grosso modo*, quatre à cinq fois plus forte qu'entre conducteurs; les résonances des harmoniques supérieures se produisent donc beaucoup plus facilement sur la différence de potentiel plomb-cuivre que sur la différence de potentiel entre conducteurs, et rien n'empêche que la résonance se produise sur la première sans influencer grandement la seconde, ou du moins les deux courbes de tension peuvent être totalement différentes. Je parle, bien entendu, de câbles torsadés.

» Dans une Communication à l'*Institution of Electrical Engineers* de Londres, M. O'Gorman attire l'attention sur la variation du taux de la chute de potentiel en allant du conducteur à l'enveloppe de plomb. En effet, si l'on considère une couche cylindrique prise à l'intérieur de la gaine isolante, chargée d'électricités de signes contraires sur ses deux faces, sa charge est $Q = K \frac{S}{4\pi de} dV$, dV étant la différence de potentiel entre les deux faces, K le pouvoir inducteur spécifique, S la surface moyenne, de l'épaisseur. Comme toutes les couches cylindriques ont la même charge et la même épaisseur, dV est inversement proportionnel à S ou à la distance à l'axe du conducteur.

Ceci suggère à l'auteur de la communication l'idée de *dégrader* les capacités des différentes couches, en faisant varier leur pouvoir inducteur spécifique, de façon à obtenir un taux constant pour la chute de potentiel. Le résultat est de diminuer l'épaisseur de l'isolant, à force disruptive égale. Mais M. O'Gorman signale, en outre, le danger qu'il y a à disposer des couches diélectriques de capacité quelconque autour d'un conducteur. En effet, supposons qu'entre deux armatures parallèles, séparées par un diélectrique homogène, on puisse appliquer une différence de potentiel maxima V de rupture ; substituons, entre les deux surfaces, à une couche du diélectrique primitif, une couche d'égale épaisseur d'un diélectrique de pouvoir inducteur spécifique supérieur. Entre les faces du nouveau diélectrique, la différence de potentiel va être moindre qu'elle ne l'était au même endroit dans la masse primitive ; elle sera donc plus forte sur l'épaisseur du diélectrique qui n'a pas été remplacé ; l'application de la différence de potentiel maxima V aura pour effet la rupture du premier diélectrique restant. Or, c'est précisément le cas d'un câble triphasé que l'on plonge dans la cuve à mélange d'huile et de résine. Le papier a une tendance à filtrer la résine et à laisser passer l'huile seule, et les hydrocarbures solides (résine, camphre, etc.) ont, généralement, un pouvoir inducteur spécifique plus élevé que les huiles. Ceci a non seulement pour effet d'augmenter la capacité entre plomb et conducteurs, mais de créer des couches de capacité très différentes, aux endroits où il y aurait le plus besoin d'homogénéité.

» *Influence exagérée attribuée aux résonances.* — D'une façon générale, les parties qui présentent dans un câble une plus forte capacité me paraissent plus exposées, indépendamment des résonances. Je serais assez de l'avis de M. Steinmetz qu'on tend à exagérer les élévations de potentiel imputées aux harmoniques supérieures ; l'effet de la capacité me paraît plutôt se réduire à une action destructive sur les isolants, par le fait du courant de charge. M. Steinmetz a montré, en effet, que l'action disruptive des courants de haute fréquence ou de très courte durée (bobines de Ruhmkorff) est bien moindre sur les isolants hétérogènes de l'industrie que celle des courants sinusoïdaux d'égale tension et de basse fréquence. J'ai fait,

moi-même, beaucoup d'essais de câbles avec un alternateur et un transformateur élévateur de tension. La courbe de l'alternateur obtenue à l'oscillographe révélait la présence des troisième et cinquième harmoniques, qui se trouvaient complètement absorbées dans le transformateur, et la courbe de tensions sur les câbles était à peu près sinusoïdale.

» Les capacités des longueurs en essai étaient d'ailleurs beaucoup trop faibles pour produire la résonance de la troisième et de la cinquième harmonique.

» *Influence inconnue de la capacité, hystérésis diel., etc.* — Cependant, en appliquant aux câbles les tensions maxima qu'ils pussent supporter, j'ai vérifié, très souvent, que la rupture se produisait presque infailliblement, si le nombre des longueurs en essai dépassait un chiffre déterminé. Les personnes qui ont fait des essais de tension sur des réseaux, avec des courants faibles, savent fort bien qu'en arrêtant l'essai aussitôt après une première décharge, il est souvent difficile de reproduire une rupture en faisant l'essai sur les tronçons individuels qui composent le réseau, sans que ce fait puisse être imputé aux élévations de tensions du genre de celle de Deptford.

» *Tension d'essai après la pose.* — Aussi ne puis-je qu'approuver ces Messieurs de la quatrième Section de demander que l'essai sur le réseau ne se fasse qu'avec des tensions très peu supérieures à la tension de service. Les précautions doivent être prises avant la pose, et c'est soumettre inutilement l'isolant à une fatigue dangereuse que de lui appliquer des tensions élevées, sur un développement de 5^{km} à 10^{km} . Les cahiers des charges qui renferment une clause demandant un essai sur le réseau à une tension supérieure au double de la tension de service ne me semblent pas s'inspirer d'une notion exacte des conditions du problème.

» *Coefficient de sécurité.* — Il me paraît très juste d'assimiler la résistance de rupture des diélectriques à la résistance mécanique des matériaux; mais il serait prudent de comparer un isolant hétérogène industriel, non à une éprouvette métallique, mais plutôt à un corps d'une élasticité médiocre. Le constructeur de câbles doit, avant tout,

déterminer la résistance de rupture des isolants qu'il emploie, en ayant soin de faire ces essais sur une certaine longueur de câble. Le coefficient de sécurité devrait être plus élevé qu'il ne l'est en général. Ainsi, si un câble construit pour 10000 volts est brûlé à 25000 volts, un essai courant de fabrication à 20000 volts ou 22000 volts ne peut être que très préjudiciable à l'isolant, et la raison en est que cette tension est trop voisine de la résistance de rupture. Le coefficient de sécurité devrait être de 4 ou 5 au moins, et il ne sera jamais trop élevé.

» C'est, je pense, dans cet ordre d'idées que l'Association américaine des *Underwriters* exige une résistance à la rupture de 30000 volts pour les câbles sous caoutchouc de 3000 volts; c'est peut-être un peu exagéré.

» En France, au contraire, il n'est jamais question de la tension de rupture, mais, seulement, d'une tension d'essai voisine du double de la tension de service; aussi, les câbles livrés à l'industrie sont-ils à peu près dans la situation d'une chaudière à vapeur qui aurait été *timbrée* à la pression de rupture, estimée d'après les essais des éprouvettes, avec cette différence, à leur désavantage, que les substances isolantes ne doivent pas être considérées comme ayant une élasticité comparable, quant à la résistance de rupture diélectrique, à celle des métaux.

» *Spécification et détermination de la tension de rupture.* — En vue d'un essai rationnel à haute tension, les cahiers des charges devraient contenir des prescriptions plus précises, puisque l'on croit difficilement que l'acheteur s'en remette absolument au fabricant pour les mesures qu'il convient de prendre. Je recommanderais d'abord que l'on s'inquiât un peu plus de la tension de rupture; celle-ci devrait être déterminée, par une épreuve contradictoire, sur une couronne de câbles prélevée au hasard sur la commande, tout en admettant une marge raisonnable de 5 à 10 pour 100.

» L'acheteur a ainsi une première indication très précieuse et assez précise de la valeur des câbles qui lui sont fournis. Mais l'évaluation même de cette tension de rupture mérite quelques soins. Si l'essai se fait avec un transformateur, le meilleur indicateur de la tension maxima que supporte le câble sera un micromètre à étin-

celles, placé dans l'air sec. Je ne puis insister ici sur les détails de cette manipulation assez délicate. Mais on peut aussi relever la courbe des tensions au moyen de l'oscillographe et déduire le voltage maximum du voltage efficace des appareils de mesure. Une combinaison de ces deux procédés vaudra encore mieux.

» *Application du courant maximum de service, concurremment avec l'essai au double de la tension.* — Cet essai, pour être concluant, devrait se faire sur le câble parcouru préalablement par le courant maximum de service, afin de réaliser l'échauffement maximum probable de l'isolant en service. Cette première épreuve aurait simplement pour objet de donner une idée de la valeur des matériaux qu'a employés le fabricant et de se rendre compte, approximativement, du facteur de sécurité.

» L'essai courant à haute tension, c'est-à-dire du double de la tension de service, en fabrication, correspondrait à l'épreuve administrative des chaudières. Cet essai devrait, également, être fait après le passage préalable du courant de service pendant un temps suffisant, et la tension maxima devrait être déterminée le plus exactement possible.

» Mais c'est surtout l'essai de réception après la pose qui doit être suivi de très près, toutes les conditions de fonctionnement, de charge maxima du réseau, de manipulations des appareils devant être réalisées dans cet essai, et la courbe des tensions relevée soigneusement dans chaque cas. Si le facteur de sécurité est suffisamment élevé (4 ou 5) pour la longueur choisie au hasard, on peut admettre un essai à la tension double pendant un temps très court sur le réseau, surtout si l'on a vérifié que les génératrices ne présentent pas d'harmoniques sensibles au delà de la troisième. Si, au contraire, on a totalement négligé le facteur de sécurité et que toute la fabrication repose sur l'essai à la tension double, il me paraît excessivement imprudent de soumettre le réseau à la tension double, surtout à vide. D'abord, les harmoniques introduites par les perméabilités variables des appareils à fer qui ne seront parcourus que par des courants de magnétisation peuvent prendre une importance désastreuse et, ensuite, la tension double pouvant être très voisine de la tension de rupture, l'influence énorme des capacités

pourra provoquer la destruction immédiate de l'isolant en certains points et, ce qui est plus grave, amener la fatigue générale de l'isolant qui passera peut-être inaperçue, étant donnée la brièveté nécessaire de pareils essais, mais qui n'en restera pas moins un danger permanent pour la suite.

» Telles sont les quelques notions qui me paraissent devoir présider à la fabrication et à l'essai des câbles à haute tension et qui doivent primer absolument toute question d'isolement. Les prescriptions étrangères semblent d'ailleurs être très larges à ce point de vue et se contentent facilement de 300 mégohms pour les câbles sous plomb, de tensions quelconques. Je ne répéterai pas davantage les considérations qui m'inclinent à croire que l'on peut encore descendre dans cette voie. L'isolement pour les hautes tensions sera toujours assez élevé au point de vue de la perte d'énergie, et il serait à désirer que cette préoccupation ne vint pas entraver l'usage de nouveaux systèmes de canalisations plus simples et moins coûteux que le câble armé. C'est surtout pour les courants alternatifs qu'il y a des progrès à réaliser dans la double voie, soit de la diminution de l'épaisseur d'isolant avec des matériaux possédant des résistances à la rupture considérables et soigneusement préparés, soit dans l'augmentation de cette épaisseur avec des mélanges bon marché, susceptibles de remplacer, à la fois, les trois enveloppes actuelles du câble armé. Cette dernière solution me paraît préférable, car elle permettrait de réduire, dans des proportions sérieuses, la capacité, ce grand ennemi des transports d'énergie en canalisations souterraines.

» *Objections. Révélation des défauts en fabrication.* — Je dois maintenant répondre à quelques objections que l'on pourrait faire à l'abaissement de l'isolement. D'abord, en fabrication, on juge cet isolement nécessaire pour révéler des défauts; l'essai de tension appliqué même aux basses tensions me semble une garantie suffisante à cet égard; mais il serait bon de choisir un minimum, 1000 volts, par exemple, pour tous les câbles à courant continu en basses tensions.

» On pense, de même, que la recherche des défauts deviendrait plus difficile si l'on adoptait des isollements très bas. Mais, d'abord,

un défaut qui aurait une résistance de quelques mégohms ne me semble pas bien dangereux pour une distribution à courant continu, et le courant alternatif à haute tension se charge malheureusement, trop bien, de faire baisser la résistance des points faibles d'une ligne.

» *Recherche des défauts en service.* — S'il y avait, néanmoins, des inconvénients graves à la recherche ou à la seule existence d'un défaut, dont la résistance serait de l'ordre de l'isolement de la canalisation défectueuse, qu'on veuille bien me permettre d'indiquer ici le système de contrôle de l'isolement et de recherche des défauts, que j'ai exposé dans plusieurs publications ⁽¹⁾. Ce mode de contrôle, d'une application très simple, dans lequel je propose même une solution générale du problème de la recherche des défauts en service, et sans rien déranger dans le réseau, est tout à fait indépendant de l'isolement de la canalisation.

CONCLUSIONS.

» L'introduction des isollements faibles dans l'établissement des câbles, et j'entends par là, des isollements de l'ordre de 1 à 10 mégohms, semblera bien un peu subversive, quand on se reporte aux règlements actuels, et quand on songe aux précautions exagérées que l'on prend encore dans les poses de câbles pour obtenir les 500 ou 1000 mégohms du cahier des charges et pour séparer l'isolement du câble proprement dit de celui des extrémités plus ou moins propres ou sèches. Ces précautions sont le plus souvent illusoires, et les chefs de station renoncent très vite à leurs exigences premières et à leurs bonnes résolutions du début. Le fait est qu'un peu de poussière ou d'humidité dans une boîte de distribution n'est souvent d'aucune importance; un défaut qui aura quelques centaines de mille ohms, mais qui s'étendra sur 20^{cm} ou 30^{cm} d'un isolateur quelconque, ne gêne en rien le service d'une station à courant continu. Les beaux isollements rêvés disparaissent naturellement par le

(1) *Méthode générale de contrôle de l'isolement et de recherche des défauts sur les réseaux pendant le service*, par P. CHARPENTIER. — *Essais et vérifications des canalisations électriques*, par P. CHARPENTIER (Ch. Béranger, éditeur).

fait de quelques défauts de ce genre; mais, comme le service n'en va pas plus mal, il faut bien en conclure qu'ils étaient parfaitement inutiles.

» Seulement, j'estime que, si jamais on en vient aux isolements faibles, ces derniers, mesurés en régime permanent, seront très probablement d'une constance et d'une *comparabilité* plus sérieuses que les isolements actuels mesurés comme on le fait. Il sera, par conséquent, facile de se rendre compte, si un feeder ou un tronçon de distribution ont subi une altération. Les variations anormales de l'isolement indiquées par les appareils de contrôle permanent, seront d'une indication au moins aussi précieuse qu'actuellement. Enfin, dans la recherche des défauts sur des longueurs de ligne bien déterminées, il sera plus aisé de tenir compte de l'isolement, faible, mais constant, des conducteurs défectueux.

» Quant à la mesure des isolements en régime permanent, c'est-à-dire après 10 ou 15 minutes de charge, on m'objectera que ces mesures deviendraient d'une longueur interminable, surtout en fabrication. J'ai répondu à cette objection dans l'article déjà cité de l'*Éclairage électrique*, et j'ai indiqué un procédé qui permet de mesurer l'isolement de dix câbles avec 10 minutes de charge beaucoup plus rapidement qu'on ne le fait d'habitude avec 2 minutes de charge seulement.

» Telles sont les quelques observations que je me permets de présenter au sujet de la discussion du rapport de M. Sartiaux. On voudra bien m'excuser de ne pas en déduire des conclusions par trop absolues en vue de la réglementation des canalisations; aussi bien je ne pense pas que ce soit là le but que s'est proposé la 4^e Section de la Société internationale. L'industrie des canalisations est, à vrai dire, dans sa première enfance, et ce ne serait pas le moment de gêner son développement par des entraves inutiles et arbitraires. On a très bien compris, au contraire, qu'il était plus utile de diriger ses premiers pas dans la voie du progrès; c'est à ce point de vue surtout que cette discussion a de l'intérêt et qu'il est du devoir de chacun d'y apporter sa contribution. »

M. le PRÉSIDENT remercie MM. Blondin et P. Charpentier.

La séance est levée à 11^h 15^m du soir.

CANALISATIONS SOUTERRAINES.

Paris, le 25 mars 1902.

*Monsieur le Président de la Société internationale des Électriciens,
à Paris.*

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

Je vous serai très reconnaissant de me permettre de revenir sur un point de l'intéressante Communication de M. Picou, insérée dans le *Bulletin* du mois de février dernier.

M. Picou dit (p. 131 du *Bulletin*), à propos des conditions qu'il conviendrait, selon lui, d'imposer pour les câbles souterrains destinés aux transports d'énergie : « Nulle bobine ne devrait s'écarter de l'isolement de l'ensemble de plus d'une quantité donnée. L'écart pourrait être de 25 pour 100 en plus ou en moins, par exemple; mais il ne faut pas préciser un chiffre, si ces vues sont admises, avant que les expériences aient permis de reconnaître quels sont les écarts inévitables, malgré le soin apporté à la fabrication. »

L'idée qu'émet M. Picou, fort logique et fort raisonnable en soi, n'est pas admissible en pratique et les expériences reconnues nécessaires auraient vite fait de le montrer. C'est que, en effet, l'isolement d'un câble varie dans des proportions considérables avec la composition du diélectrique ou de l'enduit d'imprégnation ainsi qu'avec la température à laquelle est préparée le câble (température de vulcanisation pour les câbles sous caoutchouc, température d'imprégnation pour les câbles sous jute ou sous papier). Il varie encore avec la température du diélectrique au moment de l'essai. Je sais bien qu'on ramène l'isolement à une température toujours la même; mais cette objection est ici sans valeur. Je dirai tout à l'heure pourquoi.

Quels que soient les soins pris, on ne peut arriver, industriellement, à avoir un diélectrique d'une composition et d'une nature invariables. Qu'il y ait un peu plus ou un peu moins de telle matière dans du caoutchouc, qu'il y ait un peu plus ou un peu moins de résine dans un enduit d'imprégnation, qu'une vulcanisation soit un peu plus ou un peu moins poussée, et la résistivité de l'isolant augmente ou diminue dans des proportions énormes, 25 pour 100, 50 pour 100, 100 pour 100 ou quelquefois davantage.

Quant à la correction de température au moment de l'essai, que vaut-elle ? Généralement, on ramène les isollements à 10° C. au moyen de Tables préparées à l'avance. Il y a déjà là une cause d'erreur, la Table faite pour un câble ne convenant pas toujours pour un autre câble, fût-il du même type. Mais passons là-dessus. Admettons que la table soit bonne. On fait

l'essai. On trouve, je suppose, un isolement de 5000 mégohms et l'on estime que le câble est à 14°, température pour laquelle la Table donne un coefficient de correction de 2,5; donc, l'isolement à 10° aurait été de

$$5000 \times 2,5 = 12\,500 \text{ mégohms.}$$

Si l'on avait estimé la température à 13°, le coefficient de correction aurait été de 2 environ et l'isolement calculé de 10000 mégohms. Il y a une différence de 25 pour 100 entre les deux nombres. Or, une erreur d'un degré dans l'appréciation de la température de l'isolant d'un câble est très faible. Des erreurs plus grandes sont souvent probables. Bien entendu, les coefficients que j'ai adoptés, 2,5 et 2, sont des coefficients possibles et qu'on rencontre.

J'abrège cette lettre déjà longue et je termine en citant un exemple que j'ai sous les yeux. Il s'agit de deux câbles de même section, de même type et de même fabrication. Le rapport des isolements qu'ils ont donnés est de 3,1. Et, cependant, ces câbles, en service depuis près de 4 ans sur un réseau de 3000 volts alternatifs, se sont toujours bien comportés. Ils étaient bons tous les deux.

Dans ces conditions, ne vaut-il pas mieux renoncer complètement à tirer parti de l'idée qu'a émise M. Picou? Pour moi, la réponse n'est pas douteuse. Il m'a paru d'autant plus nécessaire de le signaler que l'autorité des opinions professées par M. Picou est plus grande.

Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'expression de mes sentiments les plus distingués.

ALFRED GAY.

NOTE AU SUJET DE LA DÉTERMINATION DES PORTÉES DES LIGNES AÉRIENNES.

M. LOPPÉ. — Dans la séance de février, M. Brylinski a fait une très intéressante Communication au sujet de la détermination de la portée des lignes aériennes et a montré avec juste raison que, dans certains cas, ce n'est pas la considération de la résistance des conducteurs qui limite la portée des lignes aériennes, mais bien celle de la résistance des appuis.

L'observation de M. Brylinski est tout à fait exacte pour des lignes comportant un très grand nombre de fils, telles que les lignes télégraphiques; mais, dans les conclusions de mon étude je m'étais placé au point de vue de lignes industrielles à très haute tension, comportant 3 fils.

Du reste, en général, quand on est amené, pour de telles lignes, à avoir un grand nombre de fils, on n'hésite pas à employer des poteaux métalliques (comme exemples, nous pouvons citer le transport d'énergie de la Mescla à Nice, exécuté par la Société Thomson-Houston; en Italie, le transport d'énergie Paderno-Milan, celui de Vizzola, etc.).

Pour les lignes industrielles à haute tension avec poteaux ordinaires en bois, on a, au plus, et cela même très rarement, à installer 6 fils (et même nous n'avons pas en France de ligne à haute tension avec poteaux en bois à 6 fils) et l'on n'est généralement pas limité pour la portée, par la résistance des poteaux. Il y a, du reste, lieu de remarquer que les considérations d'économie d'installation entraînent, dans le cas de lignes à 6 fils, à adopter un métal de plus grande conductibilité et, par conséquent, des portées moindres que dans le cas de lignes à 3 fils que j'avais considéré dans mon étude.

Du reste, l'examen du Tableau ci-après, calculé d'après les données de M. Brylinski, montre bien qu'avec des lignes industrielles, on aura rarement à s'occuper, dans la détermination de la portée, de la résistance des poteaux.

M. Brylinski a établi, pour la détermination de la portée, la

relation suivante :

$$0,06 a \Sigma D + 30 = 174.$$

$$a = \frac{2400}{\Sigma D},$$

dans laquelle a est la portée en mètres et ΣD la somme des diamètres des fils exprimés en millimètres. Le Tableau suivant donne, pour des lignes industrielles à 2, 3, 4 et 6 fils, la portée suivant le diamètre des fils, déduite de la relation ci-dessus :

Diamètre des fils en millimètres.	Nombre de fils			
	2.	3.	4.	6.
3.....	400	266	200	133
4.....	300	200	150	100
5.....	240	160	120	80
6.....	200	133	100	66
7.....	171	114	85	57
8.....	150	100	75	50
9.....	133	88	66	44
10.....	120	80	60	40

Il est facile, du reste, de se rendre compte que, même avec *le vent administratif* de 280^{kg}, donnant, ainsi que l'a fait ressortir M. Brylinski, sur une petite surface courbe telle que celle des poteaux et des fils, une pression de $0,57 \times 0,62 \times 280 = 98^{\text{kg}}, 95$, soit 100^{kg} par mètre carré de section droite, dans les cas où je me suis placé dans mon étude, les poteaux ordinaires en bois résistent très bien.

Le poteau peut être considéré comme une pièce encastree au niveau du sol; si R est la résistance à la traction du bois par millimètre carré, D_1 le diamètre du poteau au point d'encastrement exprimé en centimètres, celui-ci peut résister à un moment fléchissant de $M.$ kgm donné par la relation

$$R + \frac{32}{\pi} \frac{M}{D_1^3} = 10 \frac{M}{D_1^3} \quad (\text{environ}).$$

Les moments auxquels est soumis le poteau sont dus :

1° A l'action du vent sur le poteau lui-même.

Si H est la hauteur du poteau au-dessus du sol, exprimée en mètres, D_2 le diamètre au sommet en centimètres, P la pression du

vent par mètre carré de section droite, le moment fléchissant est au maximum de

$$m_p = \frac{D_1 + D_2}{400} H^2 P \text{ kgm.}$$

En effet, on admet ainsi que le centre de gravité de la surface exposée au vent est à mi-hauteur, tandis qu'il est, en réalité, un peu au-dessous; D_1 étant plus grand que D_2 .

2° A l'action du vent sur les fils.

Si D est le diamètre d'un fil en millimètres, a la portée en mètres, h la hauteur en mètres du point d'attache du fil au-dessus du sol, le moment fléchissant dû à l'action du vent sur le fil est

$$0,001 P a D h,$$

et pour l'ensemble des fils on a

$$m_v = 0,001 P a \sum D h \text{ kgm.}$$

3° Au poids des fils et des isolateurs.

Si p_f est le poids d'un fil par mètre courant en kilogrammes, p_i le poids d'un isolateur et λ la distance en mètres du point d'attache du fil à l'axe du poteau, le moment sera pour le fil

$$(p_f a + p_i) \lambda \text{ kgm.}$$

Ces moments fléchissants ont une valeur très faible, ainsi qu'il est facile de s'en rendre compte, et, comme d'autre part, les fils sont placés de part et d'autre du poteau, ils se font, tout au moins en partie, équilibre, de sorte qu'en pratique on peut les négliger.

L'effort auquel est soumise la fibre la plus tendue du bois par millimètre carré est donné par la relation

$$R = \frac{10}{D_1^3} (m_p + m_v).$$

Le Tableau suivant donne, pour des poteaux de 7^m à 12^m de hauteur totale, ayant les diamètres que l'on trouve ordinairement dans le commerce, la hauteur de la partie exposée au vent (en les supposant enfoncés en terre des $\frac{2}{10}$ de leur hauteur totale) la surface exposée au vent; le moment dû à l'action du vent pour une pression de P kg par mètre carré de section droite et pour $P = 100$ (vent administratif), ainsi que la valeur de $\frac{10}{D_1^3}$.

Hauteur en mètres		Diamètres en centimètres		Surface exposée au vent en mètres carrés.	Moment en kilogrammètres dû à l'action du vent		Valeur de $\frac{10}{D_1^3}$
totale.	au-dessus du sol.	au niveau du sol.	au sommet.		de P kgm.	de 100 ^{kgm} .	
7	5,60	16	12	0,784	2,20 P	220	0,002441
8	6,40	17	13	0,960	3,07 P	307	0,002035
9	7,20	19	14	1,188	4,28 P	428	0,001458
10	8,00	21	15	1,440	5,76 P	576	0,001080
11	8,80	23	16	1,716	7,55 P	755	0,000822
12	9,60	25	17	2,016	9,68 P	968	0,000640

Vérifions, par exemple, la résistance du poteau de 11^m dont le croquis de montage est donné page 479 du *Bulletin* de août - septembre-octobre 1901.

Sur ce poteau, sont montés trois fils de 5^{mm} de diamètre et la portée est de 60^m.

Le fil inférieur est à $5,50 + 2,20 = 7,70$ au-dessus du sol

Le fil du milieu est à $7,70 + \frac{1,15}{2} = 8,28$ »

Le fil supérieur est à $7,70 + 1,15 = 8,85$ »

Le moment dû au vent administratif est donné par la relation

$$m_v = 0,001 P a \Sigma D h = 0,001 P a D \Sigma h.$$

$$m_v = 0,001 \times 100 \times 60 \times 5(7,70 + 8,28 + 8,85) = 744^{kgm},9.$$

Le moment dû à l'action du vent sur le poteau est, d'après le Tableau, de 755^{kgm}, le moment total est donc de 1 449^{kgm},9, et l'on a

$$R = \frac{10}{D_1^3} M = 0,000822 \times 1499,9 = 1^{kgm},23.$$

Or la résistance à la traction par millimètre carré, est, pour le sapin, de 7^{kgm},5 à 11^{kgm}, et la limite d'élasticité de 2^{kgm} par millimètre carré. On voit donc que l'on sera dans de bonnes conditions de résistance, même en admettant le vent administratif de 280^{kgm}.

Il est facile de voir que le moment dû au poids des fils et des isolateurs est absolument négligeable; en effet, le poids d'un fil de 5^{mm} pour une portée de 60^m est

$$0,0125 \times 60,1 = 7^{kg},50;$$

on peut admettre 10^{kg} pour l'isolateur; le poids total sera donc de 17^{kg},50. La distance du point d'attache à l'axe du poteau

est $\lambda = 0,50$. Le moment total est égal à celui d'un fil puisqu'il y en a deux d'un côté du poteau et un seul de l'autre; il est donc de $17,50 \times 0,50 = 8^{\text{kgm}},75$, c'est-à-dire négligeable.

Il y a lieu de remarquer que l'on a admis, dans l'étude ci-dessus, pour les poteaux, des diamètres correspondant à ceux que l'on trouve couramment dans le commerce. On peut aussi se procurer, mais naturellement en payant plus cher, des poteaux en bois ayant des diamètres plus forts et par conséquent une résistance plus grande.

CORRESPONDANCE.

Paris, le 14 janvier 1902.

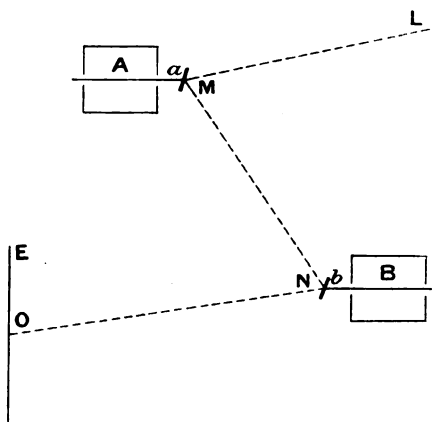
*Monsieur le Président de la Société internationale des Électriciens,
Paris.*

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

Le *Bulletin* de décembre 1901 de notre Société contient une Communication de notre collègue M. E.-W. Mix relative à un appareil pour l'observation de la variation des vitesses d'un volant pendant un tour.

Je pense qu'il sera intéressant de signaler aux membres de notre Société, que l'on peut, d'une manière presque générale, faire usage de procédés optiques, chaque fois qu'il s'agit de mesures de vitesses et particulièrement dans les cas où l'on désire s'assurer de la constance d'une vitesse ou aussi de la constance et de la variation d'un rapport de vitesse entre deux moteurs.

J'ai expérimenté, il y a une douzaine d'années, alors que j'étais Préparateur du Cours de M. J. Hirsch au Conservatoire des Arts et Métiers, une combinaison optique permettant d'observer avec la plus grande facilité :



- 1° Le synchronisme des vitesses de deux moteurs;
- 2° La variation croissante ou décroissante du rapport de leurs vitesses;
- 3° La valeur exacte comparée de leurs vitesses lorsque le rapport de ces dernières atteint une fraction entière telle que $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, etc.

J'ai représenté, ci-contre, un schéma du dispositif que j'ai employé. Les axes principaux de mouvement de deux moteurs A et B sont munis de petits miroirs *a* et *b* sur lesquels on projette un pinceau lumineux LMNO qui vient produire sur l'écran E une image résultant de la combinaison des mouvements du point lumineux sur les miroirs (ces derniers étant convenablement orientés par rapport au pinceau lumineux et légèrement inclinés par rapport au plan perpendiculaire à l'axe de rotation).

Si le rapport des vitesses est égal à l'unité, la figure projetée sur l'écran est un cercle; si le rapport atteint les valeurs entières 2, 3, 4, etc., la figure projetée est une sorte d'épicycloïde dont le nombre de boucles (soit intérieures, soit extérieures) est précisément égal au rapport des vitesses.

Si le rapport est constant, la figure reste immobile sur l'écran; au contraire, si le rapport croît ou décroît, la figure tourne autour de son centre figuré soit dans un sens, soit dans l'autre et jusqu'à ce que, la constance une fois obtenue, elle représente le rapport primitif augmenté ou diminué d'une unité.

La facilité d'observation par ce procédé est on ne peut plus simplement réalisée et j'ai obtenu des résultats dont la précision était à l'abri de toute cause d'erreur, provenant, soit de mécanismes accessoires, soit du jeu ou de l'inertie de ces derniers.

Pour les besoins de la pratique industrielle, on peut parfaitement admettre que les axes de rotation portant les miroirs soient en relation suffisamment parfaite avec les mouvements qu'on s'est proposé d'observer et, en faisant choix d'un rapport de vitesse convenable pour leur liaison respective, on aura la plus grande facilité de signaler et d'interpréter mathématiquement la valeur de la figure optique obtenue.

En dehors de la constatation relative à la valeur ou à la variation du rapport des vitesses de deux moteurs, on pourra établir les mêmes mesures pour un moteur comparé à un étalon de vitesse constante et juger, ainsi, de toutes les causes qui influent sur la vitesse d'un organe en mouvement, soit qu'il s'agisse de l'observer au point de vue de la régularité pendant un tour ou une fraction de tour, soit qu'il s'agisse de réaliser un synchronisme de vitesses.

Dans la plupart des cas, s'il ne s'agit que d'observer le rapport des vitesses entre deux axes en mouvement, le dispositif peut être employé sans l'addition d'aucun accessoire.

J'ai eu l'avantage de faire une application de ce dispositif à l'Exposition de la Société de Physique en 1890, et peut-être quelques-uns de nos collègues se souviennent-ils des figures projetées et obtenues sur deux petits moteurs électriques agencés pour la circonstance.

Les procédés optiques peuvent constituer un moyen précieux d'observation pour les phénomènes mécaniques, tant par la clarté et la précision

de leurs indications, que par la faculté qu'ils laissent de les enregistrer par la photographie.

On en a fait antérieurement l'application pour l'étude des mouvements vibratoires de deux diapasons et pour celle des mouvements de deux pendules oscillants. Tout récemment, ils ont été appliqués pour la création d'un appareil indicateur de diagrammes pour les moteurs thermiques.

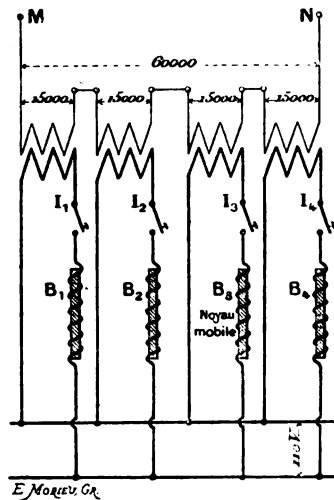
Veillez agréer, Monsieur le Président, l'expression de mes sentiments les plus distingués.

G. GAUTHIER.

LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ (1).

ESSAI DES CABLES ET DES ISOLATEURS A HAUTE TENSION.

Le Laboratoire peut se charger des essais de câbles et d'isolateurs jusqu'à 60 000 volts. L'installation comprend quatre transformateurs de 5 kilowatts chacun dont le rapport de transformation est de $\frac{110}{15000}$. Les primaires à basse tension sont montés en parallèle sur le réseau à 110 volts, 42 périodes par seconde, avec interposition d'interrupteurs I et de bobines de réaction B à noyaux variables. Les secondaires sont montés en tension, et, entre les bornes extrêmes M et N, on peut obtenir une tension de 60 000 volts



efficaces. Les bobines de réaction permettent de faire monter la tension d'une manière continue, ou de maintenir cette tension constante pendant un temps déterminé. Ces conditions sont éminemment favorables aux essais.

Les transformateurs précédents peuvent être utilisés, en cas de besoin, pour donner des tensions triphasées de $15\,000\sqrt{3}$, ou des tensions diphasées de 30 000 volts.

(1) Nous publierons désormais sous cette forme l'annonce des essais nouveaux ou non prévus au tarif général que le Laboratoire est en état d'exécuter.

PÉRIODIQUES ÉTRANGERS.

MÉMOIRES ORIGINAUX.

ALLEMAGNE.

Elektrotechnische Zeitschrift.

6/2. — Relation entre les propriétés magnétiques et électriques des métaux; *E. Gumlich*. — Nouvelle méthode de détermination du décalage des alternateurs à inducteur mobile; *O. Queisser*. — Ligne élastique (*fin*); *H. Linsermann*.

13/2. — Chemins de fer de Berlin. — Aimants pour levage; *F. Dietze*. — Modification des rhéostats à chevilles; *W. Knobloch*.

20/2. — Réduction des courants vagabonds dans les chemins de fer à retour par les rails de courant alternatif; *E. Ziehl*. — Essai des matériaux; *P. Hollitscher*.

27/7. — Bases scientifiques de la télégraphie par étincelles; *A. Slaby*. — Essais... (*fin*); *P. Hollitscher*. — Sur un nouveau réducteur automatique; *P. Thieme*.

6/3. — Moteurs à engrenages pour tramways; *Siebert*. — Calcul économique des canalisations; *L. Teichmüller*. — Résultats d'expériences sur les courants terrestres; *E. Jahr*. — Nouveau système de canalisation; *A. Peschel*.

Centralblatt für Accumulatoren Elementen, und Accumobilen.

15/2. — Sur la récupération (*suite*); *W. Muller*.

1/3. — Sur la récupération (*fin*); *W. Muller*.

AMÉRIQUE.

Electrical World and Engineer.

23/1. — Manhattan Elevated Railway... (*suite*). — Piles sèches; *C. Burgess*. — Bureaux centraux téléphoniques... (*suite*); *A. Abbott*.

1/2. — Station centrale Waterside... (*fin*). — Spectre de l'arc enfermé; *L. Bell*. — La gutta aux Philippines; *O. Kerbey*.

8/2. — Nouvel appareil pour mesurer la variation de vitesse d'un volant pendant un tour; *E. Mix*. — Bureaux centraux... (*suite*); *A. Abbott*. — Le système Wright; *R. Hale*. — Déviation magnétique de longs fils à plomb; *W. Hallock*.

15/2. — Télégraphie sans fil; *V. Emerson*. — Disques tournants; *A. Dell*. — Consommation d'énergie dans les automobiles; *H. Alden*.

The Electrician.

7/2. — Production de l'électricité; *H. Earle*. — Procédé Bell pour la fabrication des alcalis et du chlore; *J. Kershaw*. — Détermination des pertes des moteurs; *W. Sumpner*.

14/2. — Usine municipale de Bristol. — Théorie électromagnétique... (*suite*); *O. Heaviside*. — Production... (*fin*); *H. Earle*.

21/2. — City et South Railway... (*suite*). — Influence de l'installation des sous-stations sur le prix de revient du courant; *A. Stewart*. — Dilatation magnétique du fer et de l'acier; *P. Shaw* et *R. Laws*. — Stratifications de l'hydrogène; *W. Crookes*.

28/2. — Chocs électriques à 500 volts; *A. Trotter*. — Chocs électriques; *T. Aspinall*. — Stratifications de l'hydrogène... (*fin*); *W. Crookes*. — Traction électrique sur les chemins de fer; *W. Mordey* et *B. Jenkin*.

7/3. — Dilatation... (*fin*); *P. Shaw* et *R. Laws*. — City et South Railway... (*suite*). — Radio-activité et théorie des électrons; *W. Crookes*. — Bureau central du Post Office.

The Electrical Review.

Développements de la théorie atomique, et ses rapports avec l'optique et l'électricité; *C. Garrard*. — Traction électrique avec troisième rail; *E. Guarini*.

14/2. — Télégraphie sans fil; *Sullivan*. — Développement... (*fin*); *C. Garrard*.

21/2. — Calcul des dynamos à courant continu; *A. Clayton*. — Effets destructeurs... (*suite*); *M. Cleaves*.

28/2. — Propriétés magnétiques des alliages du fer. — Action de l'armature et position des balais; *H. Hobart*. — Effets destructeurs... (*fin*); *M. Cleaves*. — Télégraphie sans fil et câbles sous-marins; *E. Guarini*.

7/3. — Construction de tableaux de haute tension; *H. Clothier*. — Propriétés magnétiques des alliages du fer.

Journal of the Institution of Electrical Engineers.

FÉVRIER 1902. — Perméamètre pour essais magnétiques des matériaux en grandes masses; *C. Drysdale*. — Propriétés physiques de certains alliages d'aluminium, et notes sur les conducteurs d'aluminium; *E. Wilson*. — Isolement des conducteurs dans l'Inde; *K. Scott Moncrieff*. — Note sur un téléphone ronflant; *F. Gill*. — Aluminium, propriétés, production et usage; *W. Morrison*. — Notes sur les canalisations aériennes; *O. Burne*. — Limites des méthodes graphiques; *A. Russell*.

AUTRICHE.

Zeitschrift für Elektrotechnik.

2/2. — Méthode pour la mesure de grands décalages; *M. Breslauer*. — Usine de Pressburg; *F. Ross*. — Recherches microélectriques et d'analyse spectrale; *E. Sterkel*.

9/2. — Progrès dans la construction des appareils électriques; *J. Lbary*.

16/2. — Signaux de block-system automatiques; *L. Kohlfürst*. — Protection des voitures des tramways de Vienne; *J. Seidener*. — Éclairage de la gare du Sud à Vienne; *C. Jordan*.

23/2. — Chemins de fer électriques; *L. Raymond Schiller*.

2/3. — Chemins de fer... (*fin*); *L. Raymond Schiller*. — Signaux de block... (*fin*); *L. Kohlfürst*. — Cataphorèse; *W. Hedley*.

9/3. — Perforatrices électriques; *E. Heubach*. — Mesures à distance, système Mershon; *A. Hruschka*.



BIBLIOGRAPHIE.

Éléments d'automobiles. — Voitures à vapeur ; voitures électriques ; voitures à pétrole, par L. BAUDRY DE SAUNIER. 1 vol. in-8 de 192 pages, avec 29 figures ; veuve Ch. Dunod, éditeur ; Paris, 1900.

Cet élégant Volume, soigneusement édité, est destiné à devenir populaire. Il traite des questions pratiques si diverses et des difficultés journalières que rencontrent les personnes conduisant les véhicules automobiles.

Dans un style de causerie familière, l'Auteur explique avec une grande clarté les mécanismes des voitures à vapeur, électriques et à pétrole. Les avantages et les inconvénients respectifs de ces systèmes ressortent aisément des comparaisons mises sous les yeux du lecteur.

L'Ouvrage se termine par l'exposé des applications des automobiles et par des considérations sur leur prix de revient.

Les conducteurs et propriétaires d'automobiles doivent, avant tout, bien connaître les voitures et leurs mécanismes. Le Volume de M. Baudry de Saunier leur donnera les explications qui leur sont nécessaires à cet effet.

Manuel pratique d'Électricité industrielle, par CH. GRUET, ingénieur-électricien. 1 vol. in-18 jésus, de 375 pages, avec 259 figures, dessinées par l'Auteur ; Ch. Béranger, éditeur ; Paris, 1902.

Comme il est annoncé en sous-titre, cet Ouvrage s'adresse plus particulièrement aux contremaîtres, monteurs, ouvriers électriciens et mécaniciens.

Ce Livre recherche donc une place spéciale, entre ceux écrits pour les ingénieurs et ceux destinés à la simple vulgarisation. Il est divisé en deux Parties, l'une théorique, l'autre réservée aux applications.

Après avoir étudié d'une façon générale les phénomènes électriques, l'Auteur passe en revue les piles, les accumulateurs, le magnétisme et l'électromagnétisme. Il continue par les dynamos, alternateurs et transformateurs ; l'examen des instruments et méthodes de mesure terminant la Partie théorique.

Dans la Partie pratique, on examine successivement les canalisations, les moteurs électriques, les diverses applications des transports d'énergie, l'éclairage, la galvanoplastie, l'électrochimie, la télégraphie et la téléphonie.

L'Auteur a cherché à rendre ses explications claires et ses démonstrations n'exigent que des notions de mathématiques assez restreintes pour être comprises.

Malgré cet effort, il est à craindre que les lecteurs spécifiés plus haut, et auxquels s'adresse le Manuel de M. Gruet, n'aient encore une certaine peine à le suivre.

Instruments et méthodes de mesures électriques industrielles, par H. ARMAGNAT, Chef du bureau des mesures des Ateliers J. Carpentier. 2^e édition revue et complétée. 1 vol. in-8 de 600 pages et 228 figures; C. Naud, éditeur; Paris, 1902.

La première édition de l'Ouvrage de M. Armagnat a été épuisée en moins de deux ans; c'est le plus grand éloge qu'on puisse faire de ce remarquable travail, œuvre d'un spécialiste dont la compétence est bien connue et appréciée. L'excellent plan primitif ne pouvait qu'être conservé intact dans cette seconde édition; aussi l'Auteur s'est-il borné à compléter certaines parties et à mentionner les travaux publiés récemment.

Les appareils industriels, ayant pris un grand développement, ont été réunis dans un Chapitre spécial et séparés, de cette manière, des instruments de laboratoire.

Le Chapitre des galvanomètres s'est augmenté des instruments d'induction spéciaux pour courants alternatifs et des modèles thermiques.

Les potentiomètres ont reçu les développements que comporte leur importance actuelle, importance provenant de la certitude d'emploi des piles étalons.

Parmi celles-ci il convient de citer l'élément Weston, si patiemment et si complètement étudié à Berlin par le *Reichsanstalt*.

On trouvera au second Chapitre de la II^e Partie la description et le mode d'emploi des appareils industriels pour la mesure des courants alternatifs: les appareils d'induction, les wattmètres, etc. Le Chapitre suivant, relatif aux compteurs d'énergie, a reçu d'importantes extensions. La partie consacrée aux mesures magnétiques a été rédigée à nouveau et très notablement étendue; on y voit figurer de remarquables appareils français et étrangers. Citons encore, parmi les additions, celles se rapportant aux oscillographes, aux rhéographes, aux phasemètres et aux fréquemètres.

Une Table alphabétique des matières a été ajoutée à l'énumération des Chapitres; cette Table facilitera beaucoup les recherches.

En résumé, le traité de mesures électriques de M. Armagnat était et demeure le premier parmi les Ouvrages sur les mesures électriques tant par sa valeur que par la précision des explications que fournit l'Auteur. Il ne peut que continuer à rester très apprécié.

Méthodes pratiques pour calculer les moteurs asynchrones polyphasés, par M. BOY DE LA TOUR, Ingénieur, Chef du service électrique aux ateliers de la Compagnie Fives-Lille, à Givors. 1 vol. grand in-8 de 216 pages et 70 figures. Ch. Béranger, éditeur; Paris, 1902.

En écrivant cet excellent Volume, l'Auteur a voulu venir en aide à tous ceux qui n'ont pas eu l'occasion de suivre les cours modernes d'électrotechnie. Il s'est efforcé d'étudier complètement les moteurs asynchrones polyphasés, tout en restant dans le domaine des mathématiques élémentaires, et en expliquant longuement toutes les particularités du fonctionnement. M. Boy de La Tour examine successivement: les propriétés du champ tournant, les forces électromotrices qu'il développe et le couple électromagnétique qu'il engendre.

Un Chapitre spécial est consacré aux actions magnétisantes des divers modes d'enroulements. Il est suivi d'une étude fort intéressante et toute personnelle à l'Auteur, relative à la résistance des bagues de court-circuit des induits en cage d'écureuil.

Un résumé des principales déductions est présenté avant les diagrammes de fonctionnement.

Trois exemples pratiques servent d'application et de justification aux démonstrations.

L'Auteur y montre l'influence considérable de l'épaisseur de l'entrefer sur la valeur du coefficient de dispersion dans ces machines. Fruit d'une pratique journalière de l'Auteur, ce Livre, parfaitement réussi d'ailleurs, rendra de grands services.

Les applications pratiques des ondes électriques. Télégraphie sans fil, par M. A.

TURPAIN, Docteur ès Sciences, Préparateur de physique à la faculté des Sciences de l'Université de Bordeaux. 1 vol. in-8° de 400 pages, avec 271 figures dans le texte
C. Naud, éditeur, Paris, 1902.

Cet Ouvrage fait partie de la *Bibliothèque technologique*. Il présente d'une façon remarquable et des plus complètes les questions si attrayantes des ondes électriques et de la télégraphie sans fil.

L'Auteur rappelle tout d'abord les expériences de Herz, entreprises pour vérifier les idées de Maxwell. Il fait connaître ensuite les moyens de produire les ondes électriques stationnaires et celles qui se propagent le long des conducteurs.

Après avoir dit en quoi consiste la résonance multiple, M. Turpain décrit les diverses formes d'excitateurs employés, puis les appareils permettant de déceler la présence d'ondes électriques : résonateurs, tubes radioconducteurs, cohéreurs, indicateurs d'ondes, etc. Il passe en revue, dans le second Chapitre, les machines fournissant les décharges de haute tension et de grande fréquence donnant naissance aux ondes : machines électrostatiques, bobines d'induction, transformateurs ; les interrupteurs à trembleurs, rotatifs, à jet de mercure, ceux du genre Wehnelt et autres.

Ces organes sont soigneusement comparés quant à la sûreté de leur fonctionnement et au point de vue des effets qu'ils fournissent.

Avec le Chapitre III, nous arrivons à l'exposé des applications des ondes électriques à la Télégraphie sans fil : description des divers systèmes, leur fonctionnement, les résultats obtenus et les essais de syntonisation.

Les applications des ondes propagées par des conducteurs sont également d'un haut intérêt. Comme le montre l'Auteur dans le Chapitre IV, elles permettent la télégraphie multiple, la télégraphie et la téléphonie simultanées. On entrevoit déjà la possibilité de la téléphonie multiple.

Les applications des courants de haute fréquence sont ensuite étudiées très en détail ; elles résolvent, au moins partiellement jusqu'ici, le problème de l'éclairage électrique sans fil. Cette curieuse application réalisée par Tesla a été démontrée expérimentalement par lui devant la Société internationale des Électriciens, lors de la mémorable séance de février 1892.

Dans un Appendice qui ne comprend pas moins de 150 pages, M. Turpain relate les expériences les plus récentes sur les ondes électriques et les tentatives d'explications que l'on a données du mode de propagation de ces ondes à travers l'espace.

Suit une liste complète de tous les brevets français et étrangers relatifs aux ondes. L'Auteur analyse les principaux de ces brevets et montre comment les ondes peuvent servir à commander à distance des manœuvres, telles que celles des gouvernails, des torpilles, etc. Un Index bibliographique permet au lecteur de se reporter aux articles originaux traitant d'ondes ou de leurs applications et parus dans les périodiques scientifiques du monde entier.

L'Ouvrage de M. Turpain est, en résumé, digne des plus grands éloges à tous les points de vue.

Practical electric Railway Hand Book. (*Guide de poche sur la pratique des tramways électriques*), par M. ALBERT HERRICK, Ingénieur-conseil de traction électrique. 1 petit vol. in-18°, reliure souple. *Street Railway Journal*, éditeur, New-York, août 1901.

Ce petit Livre, d'un format commode, est bien à peu près le seul de son espèce. En 400 pages d'un texte illustré de 344 figures, schémas et croquis, l'Auteur a réuni une foule de documents du plus haut intérêt pour ceux qui s'occupent de traction ou exploitent les tramways électriques.

Divisé en neuf Chapitres et terminé par deux appendices, le Guide de M. Herrick contient les principales Tables numériques d'un emploi journalier. Il traite des divers essais et mesures électriques, étudie les voies, les stations centrales, la ligne de trolley et ses feeders, les voitures, leur équipement électrique et leurs garages.

L'Auteur développe ensuite des considérations sur la mise en marche, l'essai et la conduite des voitures, ainsi que sur les réparations à leur faire subir. Tout ce qui précède est relatif aux tramways à fil aérien.

Le premier appendice donne, en quelques pages, les renseignements indispensables sur l'emploi des batteries tampons et sur les dynamos survoltrices.

Enfin dans le second Appendice on trouvera des données relatives aux tramways à caniveau souterrain et aux chemins de fer électriques avec troisième rail isolé.

Ce Mémento est, au résumé, très complet et bien documenté. Il serait à désirer d'en posséder l'analogue en France.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

France.

Électricité (L') à la portée de tout le monde, par GEORGES CLAUDE. 12^e mille.

Paris, V^e Ch. Dunod, 1902; 1 vol. grand in-8 relié toile (avec figures).

(Don de l'Auteur.)

Industrie (L') française des instruments de précision, 1901-1902. Catalogue publié par le Syndicat des Constructeurs en instruments d'optique et de précision. Paris, Hôtel des Sociétés savantes; 1 vol. grand in-8 broché.

(Don du Syndicat.)

Notions fondamentales d'électricité industrielle. Leçons professées à l'Institut électrotechnique de Grenoble, par J. PIONCHON. — *Première partie : Éléments d'Électricité et de Magnétisme applicables à l'Électrotechnique*. Grenoble, Alex. Gratier et C^{ie}, sans date [1902]; 1 vol. grand in-8 broché (avec 149 figures dans le texte). (Don des Éditeurs.)

Télégraphie multiplex (système E. Mercadier), par H. MAGUNNA et C. PIONCHON, Ingénieurs à la Société des Télégraphes Multiplex. Paris, imprimerie L. Braun, 58, rue de Rochechouart, 1902; brochure in-8 brochée (avec 1 planche hors texte). (Don des Auteurs.)

Étranger.

Die Entstehung der Spannungscurve in Gleich- Wechsel- und Drehstrom-Erzeugern, von RICHARD BAUCH. Sonderabdruck aus der Zeitschrift für Elektrotechnik und Maschinenbau. Potsdam, 1901; brochure in-8 cartonnée. (Don de l'Auteur.)

THE HISTORY OF THE

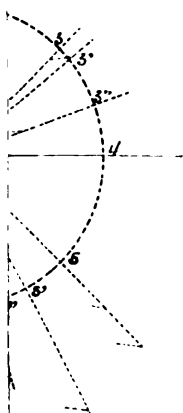
REIGN OF KING CHARLES THE FIRST

IN WHICH ARE CONTAINED
 THE
 MOST IMPORTANT
 TRANSACTIONS
 OF HIS REIGN
 FROM THE
 DEATH OF KING JAMES THE FIRST
 TO THE
 DEATH OF KING CHARLES THE FIRST
 BY
 JOHN BURNET
 A. M.
 OF THE UNIVERSITY OF OXFORD
 IN TWO VOLUMES
 THE SECOND

Pl. XXXIII.

ove, à Gand.

Redouble.



100 kgm

43 kgm

103 kgm

10 kgm²

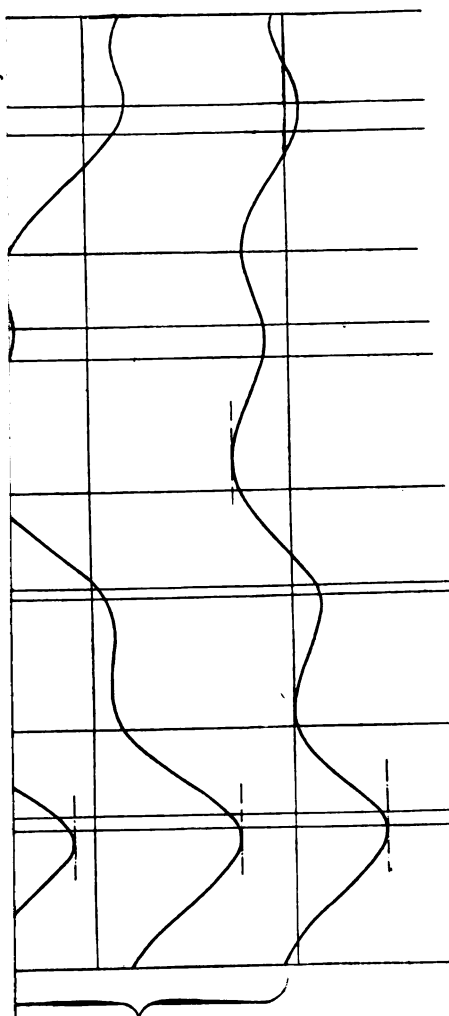
onde

vide

" 13

Société des anciens ateliers de construction Van den Kerchove, à Gand.

*Diagrammes
des décalages
Echelle de 12.5°/4.*



BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ANNUELLE, p. 255. — Rapport de la Commission des Comptes (M. R. Arnoux), p. 257. — Rapport du Comité d'administration (M. Grosselin), p. 260. — Nouveaux ampèremètres et voltmètres indépendants de leur aimant (M. P. Weiss), p. 266. — Renouvellement partiel du Comité d'administration, p. 276. — Allocution de M. A. Hillairet, p. 277. — Allocution de M. E. Harlé, p. 279.

PREMIÈRE SECTION. — *Étude des régulateurs de vitesse des moteurs à vapeur.*

Programme, p. 281.

Étude de l'influence des régulateurs des moteurs actionnant des alternateurs couplés en parallèle (M. Guilbert), p. 283.

Notes et Mémoires communiqués à la Première Section (M. A. Blondel), (M. Rateau), (M. Miet), (M. Guilbert), (M. Van der Stegen), (M. Picou), (MM. Vigreux et Brillié), (M. Chevrier), p. 305.

SITUATION FINANCIÈRE, p. 328.

BIBLIOGRAPHIE, p. 332.

ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ, p. 334.

COMPTE RENDU

DE

L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE EXTRAORDINAIRE

ET DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 9 avril 1902 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. A. HILLAIRET.

La séance est ouverte à 8^h 35^m soir et le procès-verbal de la réunion mensuelle est adopté.

(¹) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

Il est donné connaissance des Ouvrages et des dons offerts à la Société et des demandes d'admission suivantes :

MM.

- Allemandi** (Maurice-Louis), Élève à l'École supérieure d'Électricité, 30, rue de Saint-Pétersbourg, Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Barbou** (A.), Ingénieur des Arts et Manufactures, Administrateur de la *Société Gramme*, 45, rue Saint-Ferdinand, Paris. — Présenté par MM. Mascart et Javaux.
- Barennes** (Henri-Romain), Ingénieur à la *Compagnie française pour l'exploitation des Procédés Thomson-Houston*, 5, place Saint-Sulpice, à Paris. — Présenté par MM. de Marchena et Claude.
- Beaujard** (Louis-Georges), Ingénieur à la *Société de locomotion électrique*, 7, rue Gerbillon, Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Borel** (Charles-François), Directeur technique de la *Société française des Câbles électriques*, 11, Chemin du Pré-Gaudry, à Lyon. — Présenté par MM. Hillairet et Grosselin.
- Boutin** (Maurice), Ingénieur des Arts et Manufactures, Élève à E. S. E., 180, rue Lafayette, Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Gordier** (Gabriel), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Directeur général de la *Société Énergie électrique du littoral méditerranéen*, 6, avenue Notre-Dame, Nice (Alpes-Maritimes). — Présenté par MM. Sabouret et Mazon.
- Delon** (Jules), Élève à E. S. E., 104, rue d'Assas, Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Dévé** (Émile), Capitaine d'Artillerie, Élève à E. S. E., 54, boulevard Maillot, à Neuilly. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Dusser** (Paul), Ingénieur des Arts et Manufactures, Élève à E. S. E., 47, rue du Colisée, Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Gallet** (Octave-Adolphe), Élève à E. S. E., 7, faubourg Poissonnière, Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Hulin** (Léon-Paul), Directeur des Usines de la *Société d'Électrochimie*, Les Clavaux par Rioupéroux (Isère). — Présenté par MM. Hillairet et Janet.
- La Casta y Espana** (Joaquin), Élève à E. S. E., 44, boulevard Pasteur, Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Legendre** (Louis-André), Électricien de la *Maison Legendre frères*, 105, rue de Turonne, Paris. — Présenté par MM. Hillairet et Brachotte.
- Lesonhaitier** (René-Hector-Jules), Élève à E. S. E., 4, rue Bertrand, Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Madeline** (Maurice), ancien Élève de Polytechnique, Élève à E. S. E., impasse des Cheval-Légers, à Versailles. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Maunoury**, Avocat à la Cour d'Appel, 42, rue Cambon, Paris. — Présenté par MM. Carpentier et Violet.
- Petit** (Georges), Élève à E. S. E., Engagé aux *Établissements Brown Boverie*, à Berlin, 14, rue de Trévise, Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Pétitalot** (Louis), Élève à E. S. E., 45, boulevard Montparnasse, Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Ramnaud** (Gustave), Ingénieur en chef des Télégraphes, 20, rue Oudinot, Paris. — Présenté par MM. Darcq et Carpentier.

MM.

- Roulleau** (René-Joseph), Inspecteur au Bureau du Contrôle des Installations électriques, 12, rue Hégésippe-Moreau, Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Sauvage** (Camille-Athanase), Chef d'atelier à l'École supérieure d'Électricité, 90, rue Amiral-Roussin, Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Térékhoff-Bagréeff** (Serge), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Diplômé de l'École E. S. E., 4 ter, rue des Écoles, Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Weber** (Léon-Charles), Préparateur à l'École supérieure d'Électricité, 10, rue Ernest-Renan, Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Weiss** (Pierre), Professeur à l'École Polytechnique de Zurich, à Zurich. — Présenté par MM. Hillairet et Janet.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

Des remerciements sont adressés aux auteurs des dons suivants :

I. *A l'École supérieure d'Électricité :*

CHAPAT	2 coupons.
SARTIAUX (EUG.)	4 coupons.
JAVAU.	16 coupons.
MILDÉ.	2 coupons.
DESROZIERS	3 coupons.
SOCIÉTÉ DU SECTEUR DE LA PLACE CLICHY.	4 obligations et 4 coupons.

II. *Au Laboratoire central d'Électricité :*

SOCIÉTÉ DE TRANSMISSION D'ÉCLAIRAGE ET DE FORCE.	Lampes Nerst.
CANET (M.)	1 compteur Brillié.

RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES POUR L'EXERCICE 1901.

M. ARNOUX, *Rapporteur*. — « Messieurs et chers Collègues, la Commission que vous avez nommée dans votre Assemblée générale du 3 avril 1901 a procédé à la vérification de votre comptabilité pour l'exercice 1901, et j'ai l'honneur de vous rendre compte du mandat que vous avez bien voulu nous confier.

» Votre Commission a constaté que les comptes qui vous sont présentés et le bilan au 31 décembre 1901 sont bien conformes aux écritures de vos livres; elle s'est également assurée de la présence en portefeuille des différentes valeurs inscrites au bilan.

» Les points principaux sur lesquels il y a lieu d'attirer votre attention sont les suivants :

» I. *Services généraux*. — Les recettes de l'exercice 1901 se sont élevées à 72 288^{fr},58 contre 80 974^{fr},19 en 1900. Elles comprennent particulièrement une somme de 1375^{fr} en représentation de cotisations libérées et affectée, pour cette raison, au capital; les cotisations, qui, pour 1901, se sont élevées à 21260^{fr}, en augmentation de 480^{fr} sur l'exercice précédent par suite de l'accroissement du nombre des Sociétaires; une somme de 1696^{fr},09, montant des intérêts des valeurs en portefeuille; une somme de 1500^{fr} provenant des intérêts du legs Hughes, qu'il serait à souhaiter de voir distribuée le plus vite possible comme subvention à des travaux intéressants, conformément à la volonté du testateur; une somme de 7637^{fr},25 relative aux produits du *Bulletin*; quelques sommes diverses et, enfin, une somme de 38 963^{fr},05 provenant de reliquats offerts par les classes 23 (23 000^{fr}), 25 (4500^{fr}), 27 (6963^{fr},05) et de dons de généreux donateurs que notre ancien Président, M. Mascart, avec sa sollicitude habituelle, a su intéresser à notre Société. Ces sommes ont fait l'objet d'un article spécial, parce que, suivant la volonté des donateurs, elles doivent être affectées, les unes à des achats d'instruments, d'autres à des recherches sur des points déterminés et enfin, les dernières, à des améliorations à apporter aux installations et au matériel de l'Ecole et du Laboratoire.

» Les dépenses de l'exercice 1901 se sont élevées à 62 112^{fr},26 contre 27 023^{fr},97 en 1900. Cette augmentation est justifiée par l'accroissement des frais d'impression de notre *Bulletin* (en particulier le numéro de novembre, dont vous avez pu apprécier toute la valeur technique, chiffre à lui seul pour une somme de 4000^{fr}); par une subvention de 17 795^{fr},25 au Laboratoire; par une autre subvention de 7129^{fr},30 à l'Ecole, et enfin par une subvention de 3000^{fr} au Directeur du Laboratoire pour frais de voyage et de mission aux États-Unis. Et, pour terminer, nous constatons un solde créditeur de 10 766^{fr},32 ajouté ici pour la balance des comptes.

» II. *Laboratoire*. — Les recettes du Laboratoire se sont élevées, en 1901, à la somme de 68 988^{fr},80 contre 52 137^{fr},61 en 1900. La

subvention s'est élevée de 3000^{fr} à 20 795^{fr}, 25 par suite des ressources spéciales dont il a été parlé au compte de la Société. Les redevances, pour essais et étalonnements, ont passé de 29 900^{fr}, 85 à 31 458^{fr}, 85. De grosses dépenses ont été effectuées durant ce dernier exercice. Elles comprennent particulièrement 77 11^{fr}, 95 de constructions nouvelles, et 16 905^{fr}, 50 ont été consacrés à l'acquisition d'instruments et de matériel; nous mentionnerons particulièrement l'acquisition et l'installation, depuis longtemps réclamées, d'un pont roulant et d'une passerelle dans la salle des machines. Malgré les ressources supplémentaires indiquées plus haut, les dépenses pour l'exercice 1901 ont nécessité un prélèvement de 9880^{fr}, 50 sur les fonds disponibles.

» III. *École*. — Les recettes de l'École ont également augmenté cette année dans de très fortes proportions. D'une année à l'autre, elles ont passé de 81 256^{fr}, 98 à 114 788^{fr}, 63. Les redevances des élèves ont passé de 58 137^{fr}, 50 à 87 565^{fr}. Par compensation, les frais du personnel ont passé de 33 430^{fr}, 35 à 40 278^{fr}, 65; les acquisitions d'instruments de 13 825^{fr}, 20 à 29 006^{fr}, 65; les constructions de 17 34^{fr}, 95 à 17 129^{fr}, 30.

» En résumé, le bilan de notre Société fait ressortir un avoir brut de 130 358^{fr}, 40 en augmentation de 14 178^{fr}, 03 sur l'exercice précédent. Le fonds social comprend 50 Obligations P.-L.-M. fusion, 13 Obligations Est 3 pour 100, 4 Obligations Ouest-Algérien 3 pour 100, et 152^{fr} de Rente française 3 pour 100, plus une soulte de 11^{fr}, 54, constituant, au 31 décembre 1901, un capital de 35 759^{fr}, 34 contre 34 602^{fr}, 80 à la fin de l'exercice précédent. Les fonds disponibles s'élèvent à la somme de 21 209^{fr} contre 14 511^{fr}, 25 en 1900.

» Les sommes portées au passif s'élèvent à 16 464^{fr}, 06; elles constituent simplement des soldes de comptes et ne demandent aucun éclaircissement, sauf en ce qui concerne le solde de 11 038^{fr}, 50 des dons avec affectations spéciales, dont le montant sera employé en 1902 pour les besoins du Laboratoire et de l'École.

» En résumé, au bilan de notre Société, l'actif se trouve augmenté de la valeur de constructions nouvelles et de celle, très importante, des instruments et du matériel acquis pendant ce dernier exercice.

» Pour les trois services de la Société, du Laboratoire et de l'École, les comptes de l'exercice, les livres et documents de comptabilité ont établi la parfaite concordance des chiffres. En conséquence, votre Commission des comptes vous propose d'approuver les comptes de l'exercice 1901.

» L'exposé que nous venons de faire montre que la comptabilité de notre Société, toujours aussi soigneusement tenue par notre Agent administratif, M. Tessier, prend chaque année plus d'importance. Elle est tenue avec beaucoup de méthode et fait ressortir clairement la situation financière. Nous vous demandons également de remercier M. Violet, notre Trésorier, pour le zèle infatigable qu'il apporte dans l'exercice de son mandat et la grande clarté qu'il a su apporter dans l'établissement de nos derniers bilans, clarté qui a singulièrement facilité notre travail de vérification. »

M. le PRÉSIDENT met aux voix les comptes de l'exercice 1901; ces comptes sont approuvés à l'unanimité.

RAPPORT DU COMITÉ D'ADMINISTRATION.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL. — « Messieurs, l'année qui vient de s'écouler a été particulièrement satisfaisante au point de vue des intérêts généraux de notre Société.

» Elle a été marquée par l'activité des six Sections du Comité que M. Mascart avait, sous sa présidence, organisées et mises à l'œuvre.

» Vous connaissez la méthode générale de travail de ces Sections : une enquête faite, auprès de spécialistes, sur une question technique déterminée, permet à la Section de réunir une série de documents et d'opinions autorisées que son Président expose en séance de la Société.

» La discussion qui s'engage alors permet à toutes les opinions de s'exprimer.

» Nous devons ici remercier ceux des membres étrangers aux Sections qui ont bien voulu, répondant au vœu exprimé il y a un an par le Président entrant, M. Hillairet, apporter à ces études leur concours précieux.

» Ils nous ont aidés à remplir le but principal de notre Société, en faisant profiter tous ses membres de leur expérience et de leurs travaux personnels.

» En premier lieu, la deuxième Section, par l'organe de son président, M. Bochet, nous a communiqué les résultats de son enquête sur les différents régimes des lampes à arc, résultats complétés et précisés au cours de la discussion par MM. Hillairet, Brillié, Bochet, Lecomte, Janet.

» La première Section, présidée par M. Leblanc, a mis à l'étude la régularité du mouvement des machines à vapeur et l'accouplement des alternateurs en parallèle.

» La question nous a été magistralement exposée, avec les solutions pratiques qu'elle comporte, par MM. Leblanc, Boucherot et David, dans une séance à laquelle assistaient, avec M. Baudry, président de la Société des Ingénieurs civils, un grand nombre d'ingénieurs mécaniciens.

» La description des appareils permettant d'étudier le mouvement des machines comportait un développement spécial.

» M. Cornu a bien voulu nous exposer la méthode stroboscopique qu'il a imaginée pour cette étude, et nous montrer, peu de temps après, les résultats qu'il avait obtenus sur un moteur Otto.

» M. Blondin nous a décrit l'appareil de Sartori, s'appliquant au même but, et d'autres solutions du problème se sont encore dégagées de la discussion générale, à laquelle ont pris part MM. Rateau, Cornu, Boucherot, Dubois, David, Perrin, Hospitalier, Arnoux et, par correspondance, MM. Sautter-Harlé, Mix, Van der Stegen, administrateur délégué des établissements Van den Kerchove, de Gand.

» Cette étude terminée, la première Section aborda aussitôt celle des régulateurs. Dès ce soir, M. Guilbert va nous présenter un rapport à ce sujet.

» M. Sartiaux, président de la quatrième Section, nous a fait connaître les réponses obtenues sur les conditions techniques que doivent remplir les canalisations souterraines. Ce rapport a provoqué des communications et des notes de la part de MM. Blondin, Brylinski, Charpentier, Gay, Geoffroy et Delore, Grosselin, Picou.

» C'est à M. Darcq, président de la cinquième Section, que nous devons d'avoir entendu la remarquable conférence de M. le capi-

taine Ferrié, sur la télégraphie sans fil, qui nous a suscité quelques observations de M. Claude, suivies d'une réponse de M. le capitaine Ferrié.

» M. de Romilly, président de la cinquième Section, a confié au secrétaire de celle-ci, M. Armagnat, la mission d'exposer les difficultés des mesures magnétiques industrielles. Le questionnaire qu'il a rédigé a été communiqué aux principaux constructeurs de dynamos et fabricants de tôles; il ne manquera pas de soulever une discussion fructueuse.

» Nous remercierons aussi ceux de nos membres qui, parallèlement aux travaux des Sections, nous ont, par leurs intéressantes communications, tenus au courant des nouveautés scientifiques et industrielles du domaine électrique.

» M. Janet nous a fait connaître les résultats des recherches poursuivies au Laboratoire central :

» Sur les gants isolants ;

» Sur l'arc à courant continu, par MM. Laporte et Léonard, communication qui nous a valu d'intéressantes observations de M. Blondel ;

» Sur les variations, pendant une période du courant alternatif, de l'intensité lumineuse d'une lampe à incandescence, par M. Léonard.

» M. Janet, a répété devant nous la curieuse expérience de l'arc parlant, mise au point au Laboratoire.

» M. Laporte a rendu compte de ses essais photométriques sur la lampe Bremer.

» D'autres conférenciers nous ont présenté d'intéressants appareils :

» M. Perrin, les instruments enregistreurs de mesures électriques, dont M. Jacquin nous a signalé les modes et les résultats d'application au matériel roulant ;

» M. Blondin, les transformateurs électrolytiques de M. Pollak, sur l'emploi desquels un échange d'observations a eu lieu entre MM. Lauriol, Blondin, Aliamet, Pollak, Brunswick ;

» M. Hospitalier, son arcoscope et son ondographe, applications de la méthode stroboscopique à l'étude des courants alternatifs.

» Nous avons eu, de M. de Marchena, une communication sur l'emploi des commutatrices de courant polyphasé en courant con-

tinu, communication complétée par quelques observations de M. Janet.

» M. Détroyat nous a décrit les installations du Chemin de fer Métropolitain.

» Enfin, ceux d'entre nous qui assistaient à la dernière séance n'oublieront pas la conférence si claire et si brillante de M. le Dr d'Arsonval sur les phénomènes électriques et les basses températures, accompagnée d'expériences si simplement présentées.

» En dehors des séances mensuelles, notre *Bulletin* de vacances a publié le rapport de M. Janet sur la mission envoyée, par la Société, au Congrès de l'*American Institute*.

» Nous n'avons pas besoin de rappeler, ici, avec quelle distinction et quelle autorité M. Janet nous a représentés en cette circonstance.

» Au rapport de M. Janet était annexée la description, par MM. Courbier et David, des principales installations visitées au cours du voyage.

» Dans ce même *Bulletin* de vacances, M. Loppé a abordé la question de l'établissement des canalisations aériennes, qui a fait l'objet d'une discussion ultérieure entre MM. Roux, Arnoux, Boucherot, Loppé et Brylinski.

» En remerciant ces collaborateurs, nous n'oublierons pas d'adresser l'hommage de notre vive reconnaissance à M. Potier, qui veut bien continuer à rédiger, pour nous, la revue des périodiques étrangers, avec la conscience et la régularité que vous connaissez bien.

» Au cours de cette année, le nombre de nos membres a passé de 1106 à 1203.

» La mort a malheureusement enlevé quatorze de nos collègues, MM. Minié, Herchillet, Fitzgerald, Jacques, Drago, Hirsch, Wünschendorff, Gamard, Beaufiles, Somsée, Mauban, Kerkwyk, Fournier, Fortin-Hermann.

» L'École d'Électricité, après avoir délivré 63 diplômes pour l'année 1900-1901, a admis, au commencement de la présente année, 89 élèves.

» Nous signalerons, comme attestant la notoriété acquise par l'École, le fait que huit de ces élèves sont des officiers ou ingénieurs

de l'État, délégués par les Ministères de la Guerre et de la Marine.

» Onze élèves viennent de l'étranger, délégués par leur gouvernement ou à titre privé.

» La plupart des élèves français sortent des grandes Écoles ou sont licenciés des Facultés.

» La situation du Laboratoire central n'est pas moins satisfaisante.

» Après les travaux de recherches dont MM. Janet et Laporte ont rendu compte, des essais ont été entrepris et sont en cours d'exécution sur les fers et sur les balais en charbon.

» Les essais commandés, de l'extérieur, au Laboratoire, ont été particulièrement intéressants. Nous citerons les deux principaux :

» La Compagnie des Chemins de fer d'Orléans a demandé la mesure exacte de la puissance fournie, pour sa traction électrique, par l'usine génératrice d'Austerlitz.

» Deux essais ont été faits, de 24 heures consécutives chacun, et au cours desquels une lecture était faite au wattmètre toutes les cinq secondes. Ils ont exigé la présence simultanée, à l'usine, de dix opérateurs représentant le Laboratoire.

» Le Ministère de la Marine s'est adressé au Laboratoire pour procéder au concours d'accumulateurs qu'il a institué.

» L'examen a porté sur 42 éléments pouvant donner 600 volts pendant des durées variant de 30 minutes à 1 heure.

» Un premier groupe de 21 éléments, placés en série, a été soumis à l'essai d'endurance : 250 décharges ont été effectuées d'octobre à mars.

» Le deuxième groupe a été essayé, pour capacité, à cinq régimes différents et sur chacun des éléments. 105 essais ont ainsi été effectués.

» L'ensemble de ces essais a absorbé une énergie totale de plus de 9000 kilowatts-heures et exigé une durée de plus de 6 mois.

» En résumé, Messieurs, nous ne pouvons que nous féliciter de la vitalité actuelle de notre Société, ainsi que du succès des deux institutions créées par elle, et souhaiter que l'avenir confirme l'accroissement constant de sa prospérité. »

L'Assemblée générale approuve la gestion du Comité d'administration pendant l'exercice écoulé.

M. le PRÉSIDENT invite les Sociétaires qui n'ont pas encore voté à déposer leur bulletin dans les urnes et, à cet effet, suspend la séance pendant cinq minutes.

Le vote étant clos, il est procédé au dépouillement du scrutin durant la suite de l'ordre du jour qui appelle les communications techniques.

NOUVEAUX AMPÈREMÈTRES ET VOLTMÈTRES INDÉPENDANTS DE LEUR AIMANT,
pour courant continu ⁽¹⁾.

M. PIERRE WEISS. — « Quand on envisage les propriétés physiques des aimants telles que nous les connaissons par l'étude des cycles d'aimantation et de leur dépendance, souvent complexe et capricieuse, de tous les agents extérieurs, on peut être étonné à bon droit du nombre d'instruments de mesures électriques dont l'exactitude repose sur la constance d'un aimant permanent. Mais cette constatation et celle des grands efforts faits par les constructeurs pour obtenir de bons aimants suffisent pour montrer les grands avantages pratiques que l'on a trouvés à l'emploi de cet organe.

» Il n'est pas douteux qu'on ne soit arrivé dans cette voie à de bons résultats. Mais l'aimant reste toujours, sinon une cause d'erreur, du moins une cause d'inquiétude dont on ne s'affranchit que par de fréquents étalonnements. Où finissent les instruments pour lesquels toutes les précautions ont été prises pour garantir la qualité de l'aimant et où commencent les mauvais? Les instruments à aimants permanents doivent être traités avec des ménagements. Saura-t-on si la limite des mauvais traitements permis a été dépassée, est-il même possible de la tracer exactement? L'Institut physico-technique allemand, tout en reconnaissant l'exactitude souvent suffisante de ces instruments, a dû renoncer à délivrer des certificats pour les appareils à aimants permanents, à cause de la variabilité inhérente à cet organe ⁽²⁾.

» Le système d'instruments de mesures, présenté aujourd'hui à la Société, conserve les avantages pratiques des aimants, tout en s'affranchissant complètement de leur inconvénient capital, le manque de constance de leur aimantation.

» Voyons d'abord quels genres d'erreur peuvent présenter les instruments usuels. Dans ceux qui reposent sur l'emploi d'un courant fixe et d'un équipage magnétique mobile, l'aimant directeur

⁽¹⁾ Ces instruments sont construits par la maison Japy frères et C^{ie}, de Beaucourt.

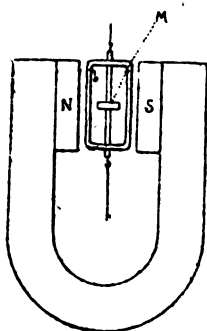
⁽²⁾ *E. T. Z.*, 1897.

fournit le couple antagoniste qui s'oppose à la déviation de l'équipage par le courant. Quand l'aimant directeur s'affaiblit, la sensibilité augmente.

» Dans les instruments à courant mobile, système Desprez-d'Arsonval, au contraire, l'aimant fournit la force déviante et la sensibilité diminue avec l'affaiblissement de l'aimant.

» On peut combattre ces défauts contraires l'un par l'autre, en empruntant le couple antagoniste et le couple déviant tous deux au même aimant. Imaginons, en effet (*fig. 1*), un galvanomètre Des-

Fig. 1.



prez-d'Arsonval, dans lequel les fils amenant le courant au cadre mobile *b* sont dépourvus de rigidité et dont l'équipage mobile porte une petite pièce *M*, de fer doux, qui se meut solidairement avec lui et que l'aimant *NS* tend à maintenir dans la direction de son champ. On voit facilement que, pour que la déviation produite par un courant donné, parcourant le cadre mobile, soit indépendante du champ de l'aimant, il suffit que le moment magnétique de *M* soit constant, condition que l'on réalise approximativement, en disposant les choses de façon que *M* soit sensiblement aimanté à saturation.

» En réalité, il n'est pas nécessaire de chercher à satisfaire avec une grande approximation aux deux conditions extrêmes que nous venons de poser : conducteurs infiniment souples et saturation magnétique de la pièce *M*; il suffit de remarquer qu'une petite force antagoniste élastique peut *compenser* l'effet de l'imparfaite saturation.

» Discutons à cet effet, graphiquement, les conditions du problème. Nous porterons, en abscisses, les champs *H* dans lesquels se meut l'équipage, en ordonnées les courants *I*, nécessaires pour produire une déviation donnée α , et nous supposerons, pour plus de simplicité,

que le champ soit uniforme. Soient, en outre, S l'aire totale de la bobine et μ le moment magnétique de la petite pièce de fer M .

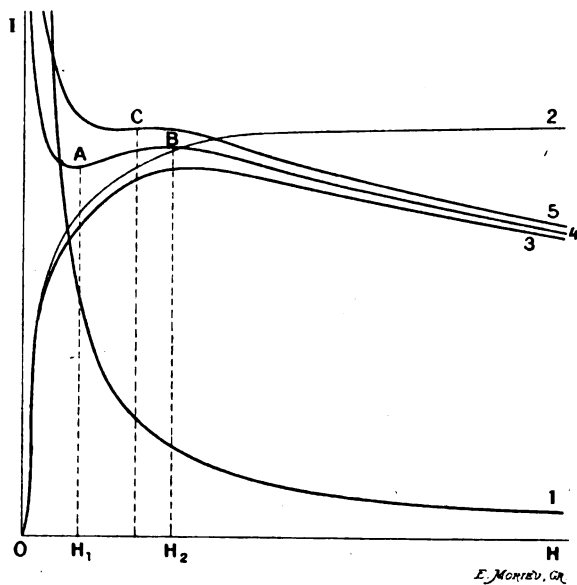
» Quand le couple antagoniste est de nature élastique, on peut le représenter par $C \times \alpha$, où C est une constante, et l'on a

$$SHI \cos \alpha = C\alpha;$$

I est donc en raison inverse de H , et la courbe est une hyperbole équilatère (1, *fig. 2*).

» Supposons ensuite que le couple antagoniste soit de nature

Fig. 2.



magnétique; l'équation d'équilibre sera

$$SHI \cos \alpha = \mu H \sin \alpha,$$

ou

$$I = \frac{\sin \alpha}{S \cos \alpha} \mu;$$

I est donc proportionnel au moment magnétique μ . La courbe cherchée (2, *fig. 2*) sera donc, à l'échelle près, la représentation de l'intensité d'aimantation de la matière dont est fait M , en fonction de H .

» L'expérience montre que cette courbe n'a pas tout à fait l'allure prévue, elle doit être remplacée par la courbe (3) dans laquelle l'asymptote horizontale correspondant à la saturation est remplacée par une asymptote légèrement descendante. La raison de cette par-

ticularité est facile à trouver. L'aimantation, au lieu de conserver une direction invariable dans la pièce de fer M, tourne légèrement par rapport à la matière et cela d'autant plus que le champ est plus fort.

» Pour obtenir la courbe (4), relative à un instrument doué à la fois de force antagoniste magnétique et élastique, on a fait la somme des ordonnées de la courbe (3) et de la courbe (1), ces dernières multipliées par un facteur plus ou moins grand, suivant l'importance de la force antagoniste élastique. Cette courbe possède, en général, un minimum A et un maximum B. Il y a donc deux valeurs du champ, H_1 et H_2 , pour lesquelles une petite variation de ce champ ne produira aucune erreur.

» En choisissant convenablement les ressorts spiraux, on peut amener le minimum à se confondre avec le maximum, en un point d'inflexion à tangente horizontale [courbe (5)] qui correspond à une sensibilité constante dans un intervalle de champ très étendu. Dans un appareil d'essai, muni d'un électro-aimant à la place de l'aimant permanent, on a pu faire en sorte que *la sensibilité ne variât que de $\frac{1}{600}$ de part et d'autre de sa valeur moyenne, quand le champ passait de 1000 à 2000 gauss.*

» Les considérations qui précèdent se rapportent à une valeur déterminée de α . On peut les étendre immédiatement à toutes les valeurs de α relativement petites pour lesquelles le couple élastique et le couple magnétique croissent tous deux proportionnellement à α .

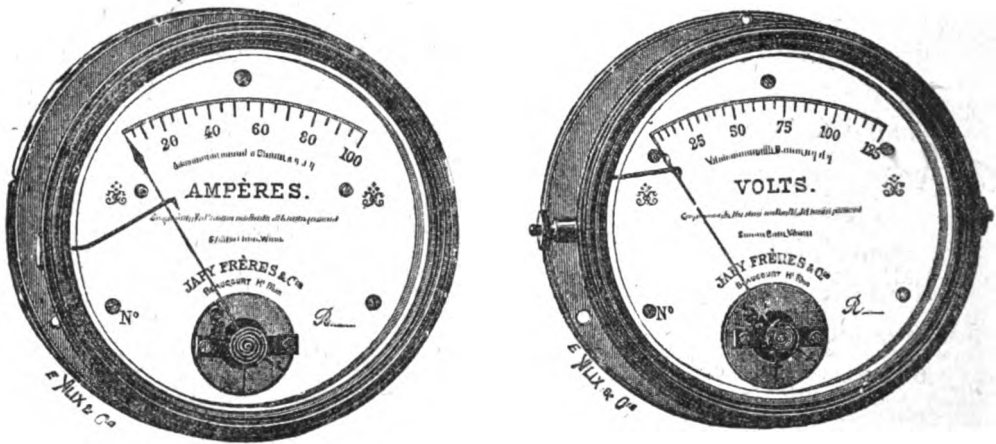
» Les propriétés des instruments dans lesquels les déviations atteignent des valeurs notables dépendent de la forme d'exécution particulière qui a été choisie. Aussi, ce qui nous reste à dire se rapporte plus particulièrement aux instruments construits par MM. Japy frères et C^{ie}, et dont la figure 3 donne l'aspect extérieur.

» Ces instruments ont été étudiés, moins pour atteindre le maximum de précision accessible qu'en vue d'une construction simple et robuste, unissant une précision moyenne (excluant les erreurs supérieures à 1 pour 100) à la plus grande sécurité de fonctionnement.

» Leur construction et leurs propriétés dérivent en grande partie

de la forme choisie pour l'aimant. C'est une simple barre d'acier magnétique de section rectangulaire, recourbée en forme de tore et présentant un entrefer unique, consistant en une coupure limitée par des surfaces polaires parallèles, alésées à la meule. Dans cet entrefer se meut une bobine en aluminium, portant, dans des rai-

Fig. 3.



nures fraisées, les enroulements et, en son centre, le fer compensateur.

» Les spiraux, formés d'une bande d'argent très mince, sont fournis suffisamment réguliers par le fabricant.

» Le Tableau ci-dessous donne, exprimés en une unité arbitraire, les courants nécessaires pour produire les déviations α , mesurées en degrés, lorsque le champ de l'aimant a les valeurs de 500 gauss et de 600 gauss.

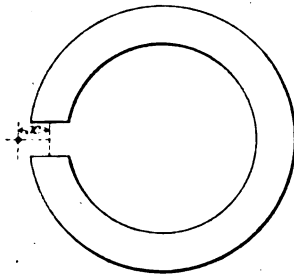
α .	H = 500 gauss.	H = 600 gauss.
— 10°	— 48,4	— 47,6
0	0	0
10	37,1	37,3
20	67,6	67,7
30	94,2	94,2
40	119,4	119,2
50	145,6	145,6
60	173,2	173,0
70	199,5	199,2

Courant produisant une déviation α , le champ de l'aimant étant H.

» On voit que la sensibilité est indépendante du champ, dans toute l'étendue de l'échelle; alors que le champ croît de 20 pour 100, les faibles variations observées sont tout à fait de l'ordre des erreurs de lecture.

» La compensation donne donc plus que les considérations *a priori* ne nous avaient fait prévoir, en *corrigeant également bien l'effet de l'affaiblissement de l'aimant sur les grandes et les petites déviations.*

Fig. 4.



» Dans le Tableau suivant, j'ai consigné les mêmes observations pour trois champs différents.

α° .	$H = 570$ gauss.	$H = 630$ gauss.	$H = 670$ gauss.
0	0	0	0
10	44,0	43,9	43,7
20	81,2	80,6	80,4
30	113,6	112,9	112,9
40	145,4	145,1	145,0
50	178,0	177,5	178,1
60	211,3	210,6	211,6

Courant produisant une déviation α lorsque le champ de l'aimant est H .

» Ici encore, les divergences sont suffisamment petites pour qu'on puisse, à première vue, les confondre avec les erreurs de lecture. Mais on s'aperçoit, en les examinant plus attentivement, qu'elles traduisent une très petite différence de propriétés de l'instrument pour les petites et les grandes déviations. Pour les premières, le courant décroît très légèrement quand le champ augmente; pour les deuxièmes, il passe par un minimum dans le voisinage de $H = 630$ gauss.

» Lorsque l'aimant, de la grandeur et de la forme adoptées, est

exécuté en bon acier magnétique, caractérisé par un champ coercitif dépassant 70 gauss, il donne, aimanté récemment, dans l'entrefer, un champ de 700 à 800 gauss. On commence par le désaimanter à 600 gauss environ. L'aimantation qui reste possède alors une grande stabilité et un affaiblissement un peu notable est tout à fait exclu (1). Mais, réglé comme il l'est, l'instrument ne sortirait pas de la région de l'exacte compensation pour un nouvel affaiblissement de 100 gauss, c'est-à-dire de 17 pour 100 environ.

» Une autre circonstance devait préoccuper, à juste titre, le constructeur désireux de réaliser, par les moyens les plus simples, des instruments exacts dans toute l'étendue de l'échelle. C'est l'identité de la loi des déviations, d'un instrument à l'autre. Ce n'est que quand l'invariabilité de cette loi est suffisamment assurée que l'on peut tirer à la presse tous les cadrans, et s'affranchir de l'ennui et des risques de la graduation individuelle de chaque appareil. Dans les instruments existant jusqu'à présent, on obtient généralement cette uniformité en rendant les déviations proportionnelles à l'intensité et, dans les meilleurs, on est arrivé à des résultats très satisfaisants. Mais il est facile de se rendre compte que ce n'est qu'au prix de véritables tours de force de précision. En supposant, dans un entrefer de 4^{mm}, une variation de 0^{mm},05 d'une région à l'autre, on trouverait des différences de sensibilité de $\frac{1}{80}$ de leur valeur dans différentes régions de l'échelle.

» Les instruments décrits ci-dessus sont, à ce point de vue, beaucoup plus avantageux. Une étude a été faite pour rechercher quelles étaient les données qui influaient sur la graduation. Toutes les petites irrégularités du montage et du champ magnétique sont sans importance; l'appareil bénéficie d'une manière imprévue du principe de la compensation. Le Tableau suivant montre, par exemple,

(1) La qualité de chaque aimant est exactement contrôlée. Je me suis servi avec avantage, pour cette opération, de la balance pour la mesure des champs magnétiques de M. A. Cotton (*Éclairage électrique*, t. XXIV, p. 257) construite par M. Pellin. Dans cet appareil, on pèse directement l'action du champ à mesurer sur un élément de courant relié au fléau de la balance. Bien que la construction de cet appareil, imaginé surtout en vue des manipulations des élèves, soit susceptible de plusieurs perfectionnements de détail, il peut, même sous sa forme actuelle, rendre des services dans la pratique industrielle.

la petitesse de l'influence du décentrage de l'axe par rapport à l'entrefer :

Décentrage x .	Courant pour la déviation 60° .
mm	
+1,4.....	162,2
+1.....	161,6
0.....	161,0
-1.....	161,4
-1,5.....	161,6
-2,7.....	160,0

et, ce qui est plus important, cette petite influence garde sensiblement la même importance relative dans toutes les parties de l'échelle.

» La seule donnée qui s'est trouvée avoir une grande importance pour la loi de la graduation, c'est l'angle de calage du fer compensateur, par rapport aux spires de la bobine. L'angle choisi, 30° dans le sens des déviations croissantes, est celui qui réduit le plus cette sensibilité aux erreurs de calage et, en même temps, fournit l'échelle très commode, également acceptable pour les voltmètres et les ampèremètres, visible dans la figure 3. Un peu plus resserrée au commencement, elle devient exactement proportionnelle à partir du milieu du cadran. Pour rendre cet angle égal à la valeur prescrite, on a monté le fer compensateur sur une petite pièce métallique d'orientation réglable et l'on contrôle le résultat de ce réglage par un procédé magnétique très simple. On fait ainsi très aisément des voltmètres de 125 volts, par exemple, ne présentant entre eux et avec la graduation imprimée que des divergences inférieures à 0,3 ou 0,4 volt.

» Une autre circonstance avantageuse mérite d'être mentionnée : c'est le rôle tout à fait subordonné des spiraux. On n'a donc à craindre, ni les altérations de la sensibilité provenant des variations de leur élasticité, ni les déplacements de zéro, si fréquents et si gênants dans beaucoup d'instruments.

» *Volmètres et ampèremètres.* — Les voltmètres ont, sur la bobine mobile, un enroulement de fil de manganine de $0^{\text{mm}},08$ dont la résistance est de 2000 $^{\omega}$ environ. Une résistance additionnelle,

formée du même fil, enroulé sur un châssis, permettant une facile circulation d'air, porte la résistance totale du voltmètre de 125 volts, à 9000^o environ. Jusqu'à 250 volts, cette résistance est dans la boîte de l'instrument; au delà elle est placée dans le socle ajouré de l'appareil.

» Des expériences, faites en vue de rechercher l'influence de la température sur l'exactitude de l'instrument, ont montré qu'en tant que galvanomètre il n'a pas de variation thermique.

» Comme voltmètre, il ne dépend donc de la température que dans la mesure où la résistance des conducteurs employés en dépend, c'est-à-dire extrêmement peu, quand on se sert de manganine.

» Les ampèremètres se composent d'un déciampèremètre en dérivation sur un shunt.

» Le déciampèremètre a 1^o environ de résistance. Il fonctionne donc sous la différence de potentiel de $\frac{1}{10}$ de volt. Plus de la moitié de la résistance est formée d'un fil de manganine, afin de réduire le coefficient thermique. Tous ces appareils sont identiques, au cadran imprimé près.

» Les shunts, en lame de manganine, sont contenus dans le socle des appareils. Ils sont ajustés, à la manière habituelle, par des traits de scie. Les prises de courant sur les shunts sont formées par de fortes tiges de laiton, qui pénètrent dans le déciampèremètre par des trous qu'elles remplissent exactement, pour empêcher l'entrée de la poussière. Les contacts entre l'appareil de mesure et le shunt sont l'un des points délicats de cette combinaison et une cause d'erreurs fréquentes; ils sont assurés par un serrage conique avec écrou de sûreté.

» Dans les ampèremètres, l'enroulement de la bobine a été fait, comme la carcasse de la bobine, en aluminium. L'équipage tout entier étant très léger, la fatigue des pivots est réduite au minimum et l'identité des indications dans la position horizontale et verticale s'obtient facilement.

» L'amortissement par les courants de Foucault, dans la carcasse en aluminium, ramène l'équipage au repos en 2 ou 3 secondes. Mais, comme les forces qui entrent en jeu sont grandes par rapport au moment d'inertie de l'équipage, il effectue, avant de s'arrêter, plusieurs oscillations d'amplitude rapidement décroissante. La lec-

ture présente donc plus de sûreté, eu égard aux frottements, que si l'apériodicité était complète.

» Voilà, dans ses grandes lignes, la description de ces instruments fondés sur un principe entièrement nouveau. Cet exposé aura rempli son but, en laissant l'impression qu'il ne s'agit pas seulement d'une conception présentant quelque originalité, mais que ces instruments, étudiés et construits avec soin, sont nés viables et destinés à rendre des services dans l'industrie et dans les laboratoires. »

M. ARNOUX. — « 1° Les instruments de mesure se comportent très différemment suivant le nombre des ampèretours démagnétisants que fournit leur enroulement, et cette comparaison est tout à l'avantage des instruments à courant mobile par rapport à ceux à palette de fer mobile.

» 2° M. Weiss a-t-il relevé la courbe de graduation pour une marche ascendante et descendante du courant? »

M. WEISS. — « Les instruments compensés, qui, par leur construction, participent des deux catégories auxquelles fait allusion M. Arnoux, sont tout à fait analogues, pour le nombre des ampèretours démagnétisants, aux instruments à courant mobile.

» Pour ce qui concerne une différence entre la courbe de graduation de l'instrument dans la marche ascendante et descendante, on pourrait concevoir qu'elle provienne de ce que le fil compensateur, lorsqu'il s'incline de 600 sur le champ, n'est plus exposé qu'à un champ magnétisant moitié moindre dans le sens de sa longueur. La matière décrit donc un cycle d'aimantation compris entre +300 gauss et +600 gauss, lorsque l'aiguille décrit tout le cadran. Or, pour le fer doux, la largeur du cycle d'aimantation ne dépasse guère quelques gauss et la portion de la courbe entre +300 gauss et +600 gauss est réversible. On peut néanmoins, en prenant la précaution de conduire l'aiguille très doucement à la main dans les deux sens, trouver une très légère divergence qui ne conduit pas à des erreurs supérieures à celles qui ont été admises normalement pour la loi de la graduation, c'est-à-dire 0,3 à 0,4 volt pour un voltmètre de 125 volts. Même cette erreur insignifiante disparaît dans l'usage de l'instrument, parce qu'il faudrait que le courant à mesurer réalisât des con-

ditions de croissance régulière absolument invraisemblables pour que l'aiguille ne fit pas quelques oscillations rapides [d'amplitude décroissante autour de sa position d'équilibre. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. P. Weiss de son intéressante Communication.

Le dépouillement du scrutin étant terminé, M. le PRÉSIDENT en proclame les résultats :

Suffrages exprimés.....	266
Majorité.....	134

PRÉSIDENT :

MM.	<i>Pour l'exercice 1903-1904.</i>	Nombre de voix obtenues.
HOSPITALIER (Ed.), Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris.....		261

VICE-PRÉSIDENTS :

BRILLOUIN (Marcel), Professeur au Collège de France.....	265
DESROZIERS (E.), Ingénieur électricien	263

TRÉSORIER :

VIOLET (L.), Ingénieur, Directeur des Ateliers J. Carpentier.....	266
---	-----

SECRÉTAIRES :

BOURGUIGNON (P.), Chef de travaux à l'École supérieure d'Élec- tricité.....	261
DURAND (A.), Chef de travaux au Laboratoire central d'Électricité.	264

MEMBRES :

MM.	
ARNOUX (R.), Ingénieur-Constructeur.....	265
BLONDEL (A.), Professeur à l'École nationale des Ponts et Chaus- sées	265
BLONDIN (J.), Professeur au Collège Rollin.	262
BOUCHEROT (P.), Ingénieur-Conseil.	265
BOULANGER (J.), Chef de bataillon du Génie	263
BRYLINSKI (E.), Sous-Directeur du <i>Triphasé</i>	263
CHAUMAT (H.), Sous-Directeur de l'École supérieure d'Électricité.	266

MM.	Nombre de voix obtenues.
CHEVRIER (L.), Directeur de l'usine centrale du Secteur électrique de la Rive gauche.....	266
CORNU (M.), Membre de l'Institut.....	266
DÉTROYAT (J.), Ingénieur adjoint au Directeur du Chemin de fer métropolitain.....	263
GUILLAUME (Ch.-Ed.), Directeur adjoint du Bureau international des Poids et Mesures.....	265
MAZEN (A.), Ingénieur des Services électriques des Chemins de fer de l'Ouest	264
PIRANI (E.), Ingénieur principal de la Société alsacienne de constructions mécaniques.....	264
RAVEAU (C.), Physicien au Laboratoire d'essais du Conservatoire national des Arts et Métiers	264
ROMILLY (DE), ancien Président de la Société française de Physique.....	264
VILLARD (P.), Professeur suppléant au Conservatoire des Arts et Métiers.....	265

Pour un an.

BRUNSWICK (E.), Ingénieur des Arts et Manufactures.....	256
---	-----

COMMISSION DES COMPTES :

GUILBERT (C.), Ingénieur électricien	265
MEYER (F.), Directeur de la <i>Compagnie continentale Edison</i>	264
SARTIAUX (Eug.), Ingénieur Chef des Services électriques au Chemin de fer du Nord	264

M. le PRÉSIDENT. — « Messieurs, mes pouvoirs étant expirés, le moment est venu de vous faire mes adieux et de vous adresser mes remerciements.

» J'ai en effet à vous remercier du concours que j'ai trouvé auprès de vous et qui nous a permis de mettre à exécution la plus grande partie du programme que nous nous étions imposé au début de cet exercice.

» Ce résultat, nous le devons d'abord à nos vice-présidents et à nos collègues du Comité qui ont dirigé les travaux de leurs sections très fidèlement suivant le vœu de mon éminent prédécesseur M. Mascart. Notre activité a été développée par l'étude et la discus-

sion de questions générales, et l'intérêt de nos séances soutenu par l'exposé de sujets d'actualité.

» Au cours de ces études entreprises en commun, dans l'intimité des séances des sections, nous avons trouvé, pour la préparation des rapports et des discussions, une bonne volonté qui confine au dévouement, et à laquelle vous avez déjà rendu hommage : nous devons en remercier de nouveau nos rapporteurs et nos secrétaires et souhaiter qu'ils bénéficient, comme il est naturel, du succès de nos travaux, qui est leur propre succès.

» Avec un budget de dépenses qui, comme vous venez de le constater, dépasse 200 000^{fr}, la tâche de notre trésorier est particulièrement lourde. Il nous faut avoir la plus grande reconnaissance pour notre collègue M. Violet qui, depuis six ans, surveille et ordonne non seulement nos opérations de trésorerie, mais aussi le détail de nos recettes et de nos dépenses. Notre comptabilité est maintenant établie suivant un type que nous nous efforçons de respecter et qui rend facile la comparaison des résultats des différents exercices, qu'il s'agisse des Services généraux, du Laboratoire, de l'École supérieure d'Électricité ou de l'ensemble de ces chapitres.

» La mission dont s'acquitte M. Violet dépasse donc celle qui est ordinairement dévolue au trésorier, et, si j'ignorais nos statuts et notre règlement, je me figurerais volontiers que nous possédons un administrateur délégué. Vous venez de renouveler le mandat de M. Violet : aucune décision n'est plus conforme à nos intérêts et à la confiance que nous plaçons en notre sympathique collègue.

» J'espère que M. Grosselin voudra bien conserver longtemps encore les fonctions de secrétaire général, qui exigent des qualités si diverses : une part importante dans l'administration des Services généraux, la préparation des séances avec leur aléa et la publication du *Bulletin*, sont l'objet des préoccupations de votre secrétaire général aux fonctions duquel M. Grosselin s'est si aisément adapté.

» Il n'y a pas de société qui ait un point d'appui comme celui que nous trouvons dans nos deux institutions : le Laboratoire central et l'École supérieure d'Électricité, foyers d'activité scientifique, centres de recherches et d'enseignement d'où sortent de jeunes ingénieurs qui, par la suite, deviennent naturellement nos collègues.

» Je suis heureux d'avoir vécu en parfaite harmonie, pendant

cette année, avec le très distingué directeur de nos institutions. M. Janet. L'action personnelle que M. Janet exerce autour de lui vous est si connue que je n'ai pas besoin de la rappeler : qu'il me soit permis de lui donner aujourd'hui une nouvelle preuve de notre amitié et de le remercier d'avoir bien voulu représenter la Société internationale des Électriciens au Congrès de Buffalo.

» L'activité et le dévouement des collaborateurs de M. Janet, aussi bien au Laboratoire qu'à l'École, sont dignes d'éloges, et il m'est agréable de vous en faire part.

» M. Sabourain, notre sympathique secrétaire du Comité depuis l'origine de notre Société, et que j'ai le plaisir de connaître depuis cette époque, s'acquitte toujours de ses fonctions en fidèle observateur de nos traditions et a droit à nos remerciements. J'y ajouterai, si vous le voulez bien, une note personnelle, car je ne puis oublier l'aide aimable que j'ai trouvée auprès de M. Sabourain, quand j'eus l'honneur d'être votre secrétaire général.

» Enfin, je dirai du personnel des Services généraux ce que j'ai dit des collaborateurs de M. Janet et vos encouragements ne doivent pas leur être épargnés.

» Messieurs, en me retirant, j'ai l'heureuse fortune de remettre la présidence à mon collègue et ami M. Harlé.

» Vous savez que M. Harlé dirige, avec notre estimé collègue M. Gaston Sautter, l'un des plus anciens et des plus importants établissements de constructions électriques, auquel est attaché le souvenir de notre très regretté président, M. Lemonnier. L'aménité du caractère et la haute expérience industrielle de M. Harlé vous font prévoir l'accueil aimable que vous trouverez auprès de votre Président, et le sens éclairé avec lequel seront gérés vos intérêts au cours de l'exercice qui s'ouvre aujourd'hui.

» Monsieur Harlé, je vous invite à prendre la présidence et je vous souhaite de conduire notre chère Société à de brillantes destinées. »

M. HARLÉ, *Président entrant*. — « Mes chers Collègues, mon premier devoir est de vous remercier pour l'honneur que vous m'avez fait en m'appelant à la présidence.

» Vos suffrages m'ont été d'autant plus sensibles que je n'avais pas brigué cet honneur.

» Vous avez escompté mon désir d'être utile à la Société; je vous remercie de cette marque de confiance.

» Un autre devoir qu'il m'est particulièrement agréable de remplir, non plus en mon nom personnel seulement, mais au nom de la Société, c'est de remercier mon prédécesseur pour les services qu'il a rendus.

» M. Hillairet a pris la présidence de notre Société à un moment critique.

» L'Exposition universelle venait de fermer ses portes.

» Après cette épopée brillante, une certaine lassitude s'était emparée des esprits; après l'effort, on éprouvait le besoin de se reposer, les affaires languissaient.

» Notre Société se ressentirait-elle aussi du malaise des lendemains de fête?

» Grâce au zèle de son président, à son ardeur communicative, elle n'a pas connu cette période de dépression.

» L'année qui se termine a été marquée, au contraire, par une activité nouvelle et comptera parmi celles qui laisseront derrière elles les travaux les plus marquants.

» Puisse mon successeur en dire autant l'année prochaine, lorsqu'à mon tour je lui céderai la place.

» Pour y parvenir, ma bonne volonté n'y suffirait pas; il me faut encore la vôtre, celle de chacun de vous en particulier; j'espère que vous ne me la refuserez pas. »

La séance est levée à 10^h55^m du soir.

PREMIÈRE SECTION.

ÉTUDE DES RÉGULATEURS DE VITESSE DES MOTEURS A VAPEUR.

PROGRAMME.

L'influence du régulateur peut se faire sentir sur le couplage en parallèle des alternateurs de deux façons bien distinctes :

1° Par la variation de vitesse qu'il nécessite, à pression de vapeur constante, pour faire varier l'admission dans les limites voulues;

2° Par les perturbations que peuvent introduire ses oscillations, particulièrement lorsque la charge subit des variations brusques.

I. A l'heure actuelle, il est reconnu que l'on facilite le fonctionnement en parallèle des alternateurs, conduits par moteurs séparés, en imposant à ceux-ci des chutes de vitesse assez importantes avec la charge.

N'y aurait-il pas lieu de définir l'importance de cette chute relative de vitesse par un coefficient spécial qu'on appellerait *écart de réglage du régulateur*, et qui pourrait être défini par l'expression :

$$K = \frac{N_v - N_c}{N_c},$$

N_v et N_c étant les vitesses angulaires pour la marche à vide et pour la marche en pleine charge?

II et III. La connaissance des courbes représentant la vitesse angulaire d'une machine à vapeur, en fonction de sa charge, aurait un grand intérêt et serait d'un précieux enseignement pour l'étude du fonctionnement des alternateurs en parallèle. Nous avons l'honneur de demander des courbes de ce genre aux constructeurs de machines à vapeur et aux directeurs de stations centrales.

Quelle est la meilleure forme de cette courbe?

IV. La valeur de l'écart de réglage admise en général nécessite l'emploi d'un dispositif spécial pour maintenir la fréquence constante.

Quel moyen préconiser de préférence?

V. Quelle explication donner à la nécessité d'une chute de vitesse importante, ou tout au moins quel est l'effet de cette chute sur le fonctionnement des alternateurs en parallèle?

VI. Quels sont les types de régulateurs qui permettent d'obtenir, le plus facilement, les variations voulues de vitesse avec la charge?

VII. En ce qui concerne les oscillations des régulateurs, il est intéressant d'en connaître la période.

VIII. Quels sont les procédés les plus recommandables pour l'amortissement des oscillations des régulateurs?

IX. Quelle doit être la périodicité relative des oscillations d'un régulateur, par rapport aux autres systèmes susceptibles d'osciller dans le groupe alternateur-moteur à vapeur?

X. Quelle est l'influence des expansions multiples sur les oscillations du régulateur dues aux variations de charge?

XI. Lorsqu'un régulateur est muni d'un frein à huile capable d'amortir énergiquement ses oscillations propres, n'est-il pas à craindre que chaque variation de charge ne détermine d'autres variations périodiques de vitesse pouvant atteindre une grande amplitude?

Quels moyens de prévenir ces variations de vitesse?

XII. Lorsque plusieurs alternateurs doivent fonctionner en parallèle, n'y a-t-il pas avantage à laisser régler la vitesse de tout le système par un seul régulateur agissant sur une seule des machines à vapeur, tous les autres ne servant plus que d'organes de sécurité?

XIII. Ne vaut-il pas mieux, tout en n'employant qu'un seul régulateur, le faire agir simultanément sur les distributions de toutes les machines à vapeur?

**ÉTUDE DE L'INFLUENCE DES RÉGULATEURS (1) DES MOTEURS
ACTIONNANT DES ALTERNATEURS COUPLÉS EN PARALLÈLE.**

M. C.-F. GUILBERT. — Messieurs, vous vous rappelez que, en novembre dernier, MM. Leblanc, David et Boucherot vous présentaient les résultats d'une étude intéressante sur le mouvement des machines à vapeur et sur l'accouplement des alternateurs en parallèle.

Les Communications de ces Messieurs se rapportaient uniquement à la question de la régularité par tour.

Dans une seconde partie de son étude, la première Commission a tenté d'élucider les questions relatives à l'influence des régulateurs. C'est le résumé des Travaux de cette Commission que notre Président a bien voulu me charger de vous présenter aujourd'hui.

Les résultats de nos travaux sont peut-être un peu moins brillants que ceux obtenus dans la première étude.

La raison doit en être cherchée, pensons-nous, dans la plus grande complication du sujet, et dans la plus grande quantité de questions posées.

Nous avons tenu, néanmoins, à mener de front l'étude de toutes ces questions, d'abord parce qu'elles constituent un ensemble difficilement divisible et, ensuite, parce que notre rôle, dans cette étude plutôt mécanique qu'électrique, devait se borner à formuler des desiderata et à faire toucher du doigt les points dignes d'attirer l'attention des constructeurs-mécaniciens.

(1) Cette étude se rapporte uniquement aux régulateurs mécaniques, c'est-à-dire dont la mise en action est basée sur une variation de la vitesse angulaire de la machine.

Les régulateurs électriques agissant par la variation d'un des facteurs du travail et mieux encore par la variation du travail lui-même, ont été jusqu'ici assez peu employés, quoiqu'ils aient le grand avantage d'entrer en action avant toute variation de vitesse et, par suite, de prévenir celle-ci.

Un régulateur de ce type a existé à l'Exposition de 1900 sur le moteur à vapeur Robey, attelé à la dynamo Scott et Mountain. Ce régulateur ne constitue, toutefois, qu'un perfectionnement aux régulateurs mécaniques, car son action a pour but de déplacer un contrepoids mobile disposé à la façon ordinaire sur le régulateur mécanique.

Un second type de régulateur à action purement électrique, cette fois, a été imaginé par M. J.-L. Routin et a pour effet d'agir directement sur l'admission avant qu'une variation de vitesse se soit produite, ce qu'il est facile d'obtenir, malgré l'*inertie électrique*, avec un volant ordinaire.

Dans ce qui va suivre, nous avons conservé l'ordre adopté dans le questionnaire que nous avons rédigé et qui résume, en quelque sorte, la plupart de ce que notre Président M. Hillairet appelle *nos sujets d'inquiétude*.

I (').

Le premier point qu'il nous a paru important de fixer est l'emploi d'un terme spécial pour définir, d'une façon précise, le taux de la variation de vitesse entre les marches à vide et en pleine charge.

Les perfectionnements apportés, depuis trente ans, à la machine à vapeur, ont eu pour but, en ce qui concerne le fonctionnement du régulateur, de rendre celui-ci aussi voisin que possible de l'isochronisme, c'est-à-dire de diminuer, autant que faire se peut, l'écart de vitesse entre les limites extrêmes de puissance.

Il était donc naturel de donner à l'écart relatif de vitesse entre les marches à vide et en pleine charge, ou à une fonction de cet écart, l'expression de *coefficient* ou de *degré d'isochronisme*.

Dans le problème du couplage en parallèle d'alternateurs commandés directement par des moteurs à vapeur, le problème est tout autre.

Comme nous le rappellerons plus loin, en effet, l'une des conditions les plus importantes, pour assurer un bon couplage en parallèle, est d'imposer aux moteurs à vapeur, sans modification de l'organe de réglage proprement dit, c'est-à-dire par le seul jeu du tachymètre, un écart de vitesse assez important entre la marche à vide et la marche en pleine charge.

L'expression de *degré d'isochronisme* n'a plus par suite aucune raison d'être, puisque tous nos efforts doivent tendre à nous éloigner de l'isochronisme au lieu de nous en approcher.

(') La question posée était la suivante : A l'heure actuelle il est reconnu que l'on facilite le fonctionnement en parallèle des alternateurs, conduits par moteurs séparés, en imposant à ceux-ci des chutes de vitesse assez importantes avec la charge.

N'y aurait-il pas lieu de définir l'importance de cette chute relative de vitesse par un coefficient spécial qu'on appellerait *écart de réglage du régulateur* et qui pourrait être défini par l'expression

$$K = \frac{N_v - N_c}{N_c},$$

N_v et N_c étant les vitesses angulaires pour la marche à vide et pour la marche en pleine charge?

Ces quelques mots sont suffisants, je crois, pour légitimer l'adoption d'une expression spéciale pour définir la chute relative de vitesse entre les limites extrêmes de puissance, c'est-à-dire pour les électriciens, mais pour eux seulement, le coefficient d'auto-régulation du moteur à vapeur.

Pour permettre aux mécaniciens et aux électriciens de se comprendre, il fallait chercher une expression moins électrique.

Personnellement, nous avons proposé l'expression de *coefficient du régulateur*.

Sur une observation très juste de M. Hillairet concernant l'abus qu'on fait en général du mot *coefficient*, la Commission s'est ralliée à l'adoption du terme *écart de réglage* du régulateur qui, pensons-nous, pourra être compris par tous.

Il eût été évidemment préférable de choisir un terme plus court et formé d'un seul mot.

L'expression de *décrément*, proposé par M. Rateau, aurait été satisfaisante si elle eût été plus euphonique.

L'expression de l'écart de réglage sera, par suite,

$$K = \frac{N_v - N_c}{N_c},$$

expression où N_v et N_c représentent les vitesses angulaires moyennes en tours par minute, à vide et en pleine charge.

Si, au lieu de considérer la vitesse N_c en pleine charge, on considère la vitesse pour une fraction quelconque de cette charge, on obtient, pour chaque fraction de charge, une valeur du coefficient K .

Plus simplement, si l'on représente les valeurs de la vitesse angulaire moyenne en fonction de la charge, exprimée en chevaux indiqués, on obtient une courbe qui jette une grande lumière dans l'étude du couplage en parallèle (*fig. 1*).

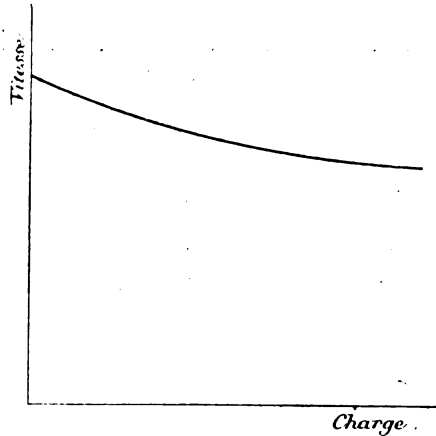
Cette courbe fut introduite, pour la première fois, dans la théorie du fonctionnement en parallèle des alternateurs, par M. A. Blondel dans sa remarquable étude publiée sur ce sujet, il y a déjà 10 ans ⁽¹⁾, puis reprise il y a quelques années par M. Woodbridge ⁽²⁾, en Amérique.

⁽¹⁾ *Lumière Électrique*, t. XLVI, 19 novembre 1892, p. 365-366. — La partie de l'étude de M. Blondel, relative aux régulateurs, est reproduite en annexe (*voir* p. 305).

⁽²⁾ *L'Éclairage Électrique*, t. XII, 4 septembre 1897, p. 468.

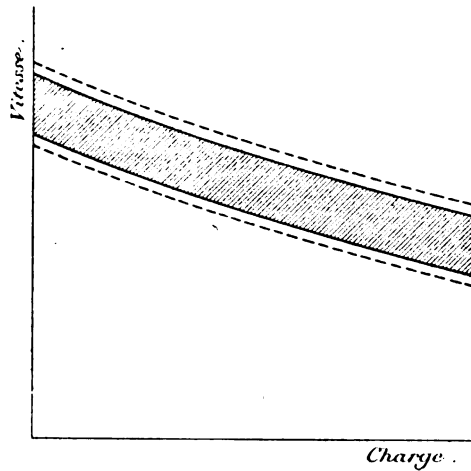
La considération de courbes représentatives de la vitesse en fonction de la charge indiquée n'est pas tout à fait suffisante. La stabilité du régulateur ne lui permet pas de conserver une vitesse

Fig. 1.



moyenne unique pour une charge donnée. Nous savons, en effet, que, pour une charge déterminée, la vitesse moyenne peut osciller entre deux limites plus ou moins déterminées et qui dépendent, entre

Fig. 2.



autres choses, des frottements du régulateur et des jeux dans les engrenages.

En réalité, le point de fonctionnement, pour une charge quelconque, se trouve donc à l'intérieur d'une plage comprise entre deux

courbes limites sensiblement parallèles (*fig. 2*) et dont la différence relative a reçu le nom de *stabilité*.

L'écart de réglage du régulateur correspond, naturellement, à l'une ou l'autre des courbes limites ou, mieux encore, à la courbe moyenne, qui est naturellement la seule que nous puissions déduire de l'expérience.

Avant d'aller plus loin, il convient de rappeler une condition à remplir entre l'importance du volant et ce qu'on appelle la *puissance* ou la *force du régulateur*.

On pourrait croire, *a priori*, que la différence des vitesses moyennes pour une charge donnée, ou, autrement dit, la largeur dans le sens vertical de la plage comprise entre les deux courbes du régulateur, doit être réduite autant que possible. Mais ce serait compter sans l'influence du volant.

Le coefficient d'irrégularité du moteur n'étant jamais nul, il est évident que les variations de vitesses du tachymètre, par suite de l'irrégularité du moteur, doivent être inférieures à celles qui produisent la mise en action du régulateur.

Rigoureusement donc, la différence entre les vitesses moyennes extrêmes, pour une puissance donnée, doit être plus grande que la différence entre les vitesses instantanées maxima et minima pendant une révolution.

S'il n'en était pas ainsi, le régulateur déréglerait la machine à chaque tour.

Il est à remarquer que, si l'on avait calculé les courbes limites sans tenir compte de l'irrégularité du volant, il y aurait lieu, pour obtenir les courbes limites pratiques ou, encore, la région réelle de stabilité, de resserrer les deux courbes extrêmes d'une quantité égale à la différence entre la vitesse maxima et la vitesse minima, ou encore de rapprocher ces deux courbes de la courbe moyenne d'une quantité égale à la demi-différence des vitesses angulaires maxima et minima.

On obtient ainsi les diagrammes complets donnés par M. Blondel.

Lorsque deux alternateurs seulement sont en parallèle, le point de régime commun ne pourra évidemment se trouver que dans la partie commune aux deux plages des régulateurs.

Dans ce cas, mais dans ce cas seulement, on pourrait arriver à

une précision parfaite dans l'égalisation des charges, non pas en amenant les plages des régulateurs à se superposer complètement l'une à l'autre, mais au contraire en les disposant l'un à côté de l'autre, si possible, de façon qu'elles aient une limite commune.

Dans le cas général de plus de deux alternateurs, l'égalisation des charges, si les alternateurs sont de même puissance, ne pourra avoir lieu que par la superposition exacte des plages et par leur réduction au strict minimum.

Cette réduction ne peut s'obtenir que par la diminution des frottements et, par suite, de la stabilité.

Ceci montre déjà que, pour une même stabilité, on réduira les différences de charges, entre les divers groupes supposés de même puissance, en inclinant le plus possible les courbes par rapport à l'axe des charges, c'est-à-dire en augmentant l'écart de réglage.

II et III (').

La connaissance des courbes représentatives de la vitesse angulaire moyenne en fonction de la charge n'est donc pas sans intérêt dans l'étude du couplage en parallèle des alternateurs à commande directe.

C'est pourquoi nous avons prié les constructeurs de machines à vapeur et les directeurs de stations centrales à courants alternatifs de vouloir bien nous communiquer des courbes de ce genre.

La Société des Établissements Van den Kerchove, de Gand, nous a envoyé une courbe moyenne de régulateur, calculée et correspondant à un moteur à vapeur du type tandem à distribution par pistons-valves avec réglage de la détente sur les deux cylindres à la fois.

Cette courbe est très sensiblement droite et tourne sa convexité vers l'origine.

De notre côté, grâce à l'obligeance de M. Chevrier, directeur de

(') La connaissance des courbes représentant la vitesse angulaire d'une machine à vapeur, en fonction de sa charge, aurait un grand intérêt et serait d'un précieux enseignement pour l'étude du fonctionnement des alternateurs en parallèle. Nous avons l'honneur de demander des courbes de ce genre aux constructeurs de machines à vapeur et aux directeurs de stations centrales.

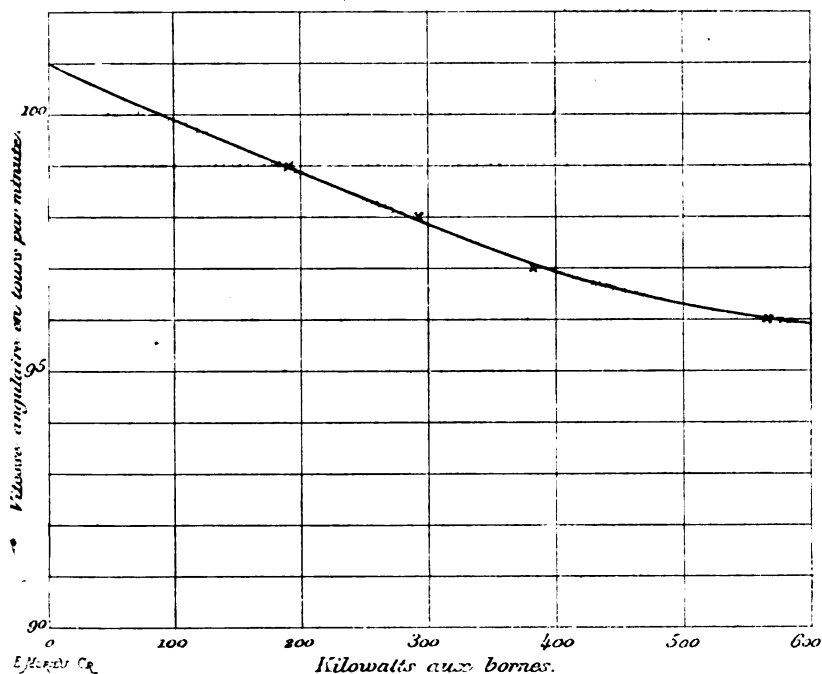
Quelle est la meilleure forme de cette courbe?

l'usine du Secteur de la Rive gauche, nous avons relevé sur un des groupes du Secteur une courbe du même genre qui a une allure identique (*fig. 3*).

Ces courbes ont été obtenues en maintenant la pression constante aux boîtes à vapeur par étranglement de celle-ci.

L'écart de réglage étant assez important, environ 5 pour 100 entre la marche à vide et la marche en pleine charge, on a pu se contenter

Fig. 3.



de prendre la vitesse angulaire avec un chronomètre ou compte-secondes.

Lorsque l'écart de réglage ne dépasse pas 3 à 4 pour 100 et lorsqu'on dispose, comme c'est souvent le cas, de deux alternateurs dont les arbres sont sur le prolongement l'un de l'autre, on peut opérer avec plus de rigueur de la manière suivante :

On fait fonctionner l'un des alternateurs, dont la vitesse doit servir d'étalon, sur une charge fixe égale à environ la moitié de la charge normale. On mesure ensuite le glissement de l'alternateur du groupe à étudier par rapport au précédent, et cela pour différentes charges.

Ce glissement peut s'obtenir en comptant le nombre de pôles qui défilent pendant un intervalle de temps donné. Toutefois, cette façon d'opérer n'est pas rigoureuse, car elle n'élimine pas l'influence due à l'irrégularité par tour.

Pour faire disparaître l'influence de la variation de vitesse instantanée, il suffit évidemment de mesurer le temps que met l'alternateur en essai à gagner ou à perdre un tour complet par rapport à l'alternateur à vitesse moyenne fixe et d'en déduire ensuite le glissement moyen.

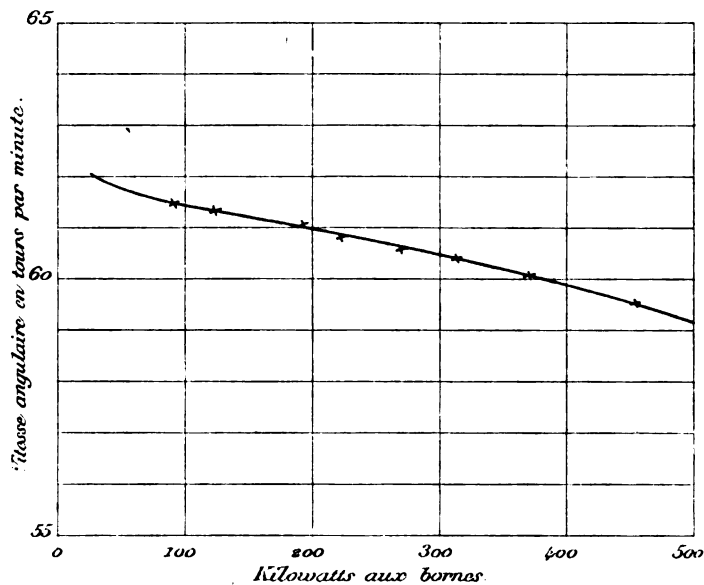
La vitesse moyenne de ce dernier alternateur doit être contrôlée pendant toute la durée de la mesure du glissement.

Nous avons pu, avec ce procédé, relever la courbe de la chute de vitesse, en fonction de la charge, d'un groupe pour lequel l'écart de réglage n'est, entre le quart de charge et la pleine charge, que de 3,3 pour 100 environ.

La courbe relevée est annexée à ce travail (*fig. 4*).

Cette méthode pourrait être employée pour des écarts plus grands,

Fig. 4.



en prenant la précaution de placer des repères sur un certain nombre de pôles équidistants, de façon à faciliter la mesure du glissement.

La forme de courbe idéale est naturellement la ligne droite, en prenant comme abscisses les charges aux bornes.

Mais, en réalité, la courbe la plus utile à considérer est celle des vitesses en fonction de la charge indiquée au cylindre.

La première étant une droite, cette seconde courbe sera légèrement convexe et aura sa convexité tournée du côté de l'origine.

La proportionnalité des charges aux chutes de vitesse est suffisante au point de vue du couplage en parallèle. Néanmoins, au point de vue purement mécanique, il est utile, comme une règle de bonne construction, de chercher à réaliser, ainsi que l'a proposé M. Rateau, une proportionnalité entre le déplacement du manchon du régulateur et la puissance fournie.

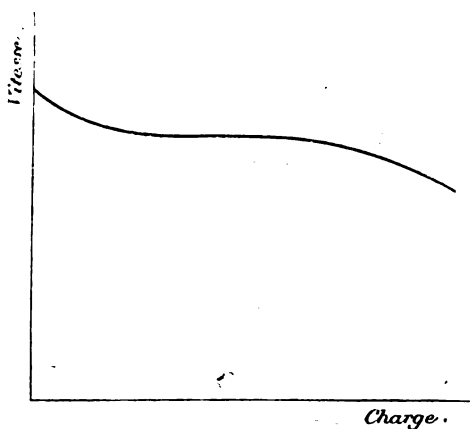
La réalisation d'une chute de vitesse proportionnelle à la charge, assez bien remplie dans les exemples de la maison Van den Kerchove et du Secteur de la Rive gauche, n'est pas, néanmoins, d'une nécessité absolue.

Avec des régulateurs donnant des courbes pratiquement droites, c'est-à-dire des plages comprises entre deux droites parallèles, la différence de charge possible entre deux alternateurs identiques en parallèle est constante pour toutes les charges.

Or, il suffit, à la rigueur, que cette différence de charge reste proportionnelle à la charge totale débitée par les deux alternateurs.

Une plage réalisant pratiquement cette condition, d'avoir ses

Fig. 5.



limites parallèles dans le sens vertical et s'éloignant progressivement dans le sens horizontal, aura naturellement sa convexité tournée vers l'origine.

C'est le cas de beaucoup de courbes fournies par les différents types de régulateurs, quoiqu'il y ait des exceptions, comme nous l'avons vu.

Les courbes avec point d'inflexion et tangente voisine de l'horizontale (*fig. 5*), qu'on a cherché à réaliser pour obtenir un isochronisme plus parfait, seraient naturellement néfastes pour des régulateurs de moteurs actionnant des alternateurs en parallèle.

IV et V (').

Comme nous venons de le dire, la nécessité d'une chute de vitesse importante avec la charge a surtout pour effet de donner plus de précision à la répartition convenable des charges.

Plus la chute de vitesse est grande, plus l'égalité des charges sur les différentes machines est assurée.

Mécaniquement, l'emploi d'un écart de réglage assez grand augmente la sensibilité du régulateur, c'est-à-dire sa rapidité d'action, condition primordiale pour que tous les régulateurs agissent en même temps. Rien ne s'opposerait donc à la réalisation d'un grand écart de réglage si un facteur important, la fréquence, ne variait avec la vitesse. Dès que l'on consent à un écart de réglage supérieur à 5 pour 100, il devient nécessaire, dans la plupart des cas, de maintenir la fréquence constante par un dispositif spécial, par un organe approprié, ou compensateur, adjoint au tachymètre, ou régulateur proprement dit.

Ici apparaît un des points les plus importants dans l'étude des régulateurs des moteurs destinés au fonctionnement en parallèle. Ce point est la séparation complète entre le tachymètre agissant sur la distribution, et l'organe compensateur, destiné à maintenir la vitesse ou la fréquence constante.

(¹) IV. La valeur de l'écart de réglage admise en général nécessite l'emploi d'un dispositif spécial pour maintenir la fréquence constante.

Quel moyen préconiser de préférence?

V. Quelle explication donner à la nécessité d'une chute de vitesse importante ou tout au moins quel est l'effet de cette chute sur le fonctionnement des alternateurs en parallèle?

Les procédés pour maintenir la fréquence constante, sont au nombre de trois. Un premier consiste à agir sur un poids mobile qui fait varier l'effort que doit produire le tachymètre pour entrer en action. La manœuvre de ce contrepoids mobile peut se faire à la main (MM. Farcot frères et C^{ie}, secteur des Champs-Élysées), ou à l'aide d'un petit moteur électrique commandé du tableau de distribution (Société Alsacienne, usine du Triphasé, à Asnières).

Le déplacement de ce contrepoids n'est pas une nécessité. On peut, comme l'a proposé en 1886 M. Menges, bien connu par ses travaux sur la réduction de la réaction d'induit, faire varier le poids apparent de cette masse par l'attraction d'un solénoïde.

Le dispositif de M. Menges a été tout d'abord proposé pour le courant continu; le solénoïde était alors traversé par le courant total de la machine, s'il s'agissait d'une distribution en dérivation, et mis en dérivation aux bornes du réseau, dans le cas d'une distribution en série. Avec les courants alternatifs, l'attraction doit être une fonction convenable de la puissance réelle $EI \cos \varphi$.

Un second moyen, employé également avec succès, consiste à agir sur la valve d'arrivée de vapeur de chaque machine, de façon à faire varier la pression aux tiroirs d'admission avec la charge.

Ce procédé est adopté dans quelques réseaux d'éclairage et, en particulier, au Secteur de la Rive gauche.

Pour les réseaux d'éclairage, il ne paraît pas nécessaire que le réglage de la vitesse soit automatique. Pour les installations de transport d'énergie, l'automatisme serait évidemment désirable, mais il y a lieu alors d'employer des dispositifs à action très rapide si l'on ne veut pas que le remède soit pire que le mal.

Le troisième procédé permettrait un réglage automatique de la vitesse et reviendrait à l'adjonction d'un compensateur analogue au compensateur Denis, employé par quelques constructeurs à Paris.

A la question du réglage de la fréquence peut se rattacher celle du réglage de la vitesse pour la mise en synchronisme.

Les deux premiers procédés indiqués, poids mobile ou variable et étranglement de la vapeur, ne sont pas toujours suffisants, non pour obtenir la vitesse voulue, mais pour assurer à cette vitesse la constance voulue.

On peut alors préconiser des dispositifs spéciaux pour la marche à vide.

M. Picou nous a signalé un procédé qu'il a fait employer avec succès à Alger sur des machines Biérix à soupapes Colmann et consistant à *shunter* la vanne d'arrivée de vapeur, c'est-à-dire à disposer un petit tuyau muni d'un robinet facilement réglable et établissant une dérivation de l'avant à l'arrière de la vanne.

VI (').

Les différents types de régulateurs se prêtent-ils plus ou moins facilement à l'obtention d'une variation donnée de vitesse entre la marche à vide et à pleine charge?

Cette question n'est pas une naïveté, car, s'il n'est pas douteux que l'on puisse, théoriquement, obtenir un écart donné avec un régulateur d'un système quelconque, il n'en est pas moins vrai que l'importance de l'écart de réglage peut conduire à des dimensions inadmissibles dans un système plutôt que dans un autre.

L'avis de nos collègues de la première Commission, et plus particulièrement de M. Rateau, est que les régulateurs à marche rapide, et où l'action de la force centrifuge est contre-balancée par des ressorts, sont les plus aptes à la réalisation d'un écart de réglage important.

Cette question du choix du système régulateur peut être encore envisagée à un autre point de vue, celui de la possibilité d'une modification après coup.

Il peut se faire qu'on aperçoive, au cours des essais, que l'écart de réglage prévu ou réalisé soit insuffisant. Il y a lieu, dans ce cas, de chercher à l'augmenter par une modification convenable qui devra être aussi simple que possible et dont la simplicité dépend, naturellement, du système de régulateur employé.

Un cas intéressant, que nous signalerons à ce sujet, est celui d'une installation où le service de jour, c'est-à-dire avec faible facteur de puissance ou faible rapport entre la charge réelle et la charge appa-

(') Quels sont les types de régulateurs qui permettent d'obtenir le plus facilement les variations voulues de vitesse avec la charge?

rente, doit être fait avec deux ou plusieurs machines en parallèle.

Il peut être nécessaire, dans ce cas, d'augmenter, pour cette marche spéciale, l'écart de réglage et de prévoir, en même temps, un dispositif simple qui permette de passer rapidement d'un fonctionnement à l'autre, de façon à ramener l'écart à sa valeur prévue pour la marche en pleine charge réelle.

D'un autre côté, l'écart de réglage prévu peut être trop grand ; il doit pouvoir alors être possible de le réduire de façon à diminuer les variations de fréquence, si ces variations ne sont pas annulées par un dispositif spécial.

On peut y arriver assez facilement par l'emploi d'un levier incliné, comme on le verra dans le Mémoire de M. Van der Stegen, et plus facilement encore avec les régulateurs à ressorts.

VII (').

Il n'est pas douteux que la connaissance de la période d'oscillation propre du régulateur soit utile. Il importe, en effet, que cette période d'oscillation ne soit pas voisine de celle du volant si l'on veut éviter un pompage constant qu'il serait très difficile d'amortir.

La mesure de cette période d'oscillation est du reste très facile à obtenir à l'atelier en commandant le tachymètre par une courroie.

Nous avons pu, M. Boucherot et moi, grâce à l'obligeance de M. Van der Stegen, mesurer la période d'oscillation propre d'un régulateur d'une machine de 1000 chevaux, en le commandant par une courroie et en entretenant les oscillations à la main.

Cette période a été trouvée égale à 0^s,6 environ.

Avec le tachymètre à ressort, la période peut être beaucoup plus courte et peut se calculer facilement.

L'oscillation propre du régulateur n'est pas du reste la seule à considérer, car ce n'est pas elle que l'on peut mesurer dans les oscillations que prend le tachymètre pour une variation de charge suffisante, si les oscillations ne sont pas amorties.

(¹) En ce qui concerne les oscillations des régulateurs il est intéressant d'en connaître la période?

C'est, en effet, l'oscillation de l'ensemble du système, régulateur et distribution, qui intervient alors, oscillation qu'il n'est pas facile de mesurer.

VIII (').

Toute oscillation étant nuisible, il faut l'amortir. Nous venons de voir quelques-uns des principaux genres d'oscillations des régulateurs :

- 1° Oscillations propres du régulateur seul;
- 2° Oscillations du système formé par le régulateur et l'ensemble de la distribution;
- 3° Oscillations du régulateur due à l'irrégularité du volant et dépendant du nombre de coups de piston par cycle.
- 4° Oscillations par tour.

A ces énumérations, déjà nombreuses, il y a lieu d'ajouter les oscillations à longue période dont nous parlerons plus loin.

Comment amortit-on ces oscillations?

Les oscillations à période relativement courte, comme celles du régulateur seul, celles dues à l'irrégularité et celles produites à chaque tour, peuvent être facilement amorties à l'aide d'un frein, à huile, par exemple.

L'amortissement de ce frein n'aurait pas besoin, pour ces oscillations, d'être bien considérable, les frottements seuls les annulant déjà presque totalement.

L'amortissement des oscillations à période plus longue nécessite, au contraire, l'emploi d'un frein très puissant.

Mais il se produit alors un phénomène particulier : c'est que, si les orifices pratiqués dans le piston amortisseur sont tels que l'amortissement total soit réglé à sa valeur critique, comme cela semble très naturel, pour les oscillations à longue période, l'amortissement qui en résultera pour les oscillations à courte période sera exagéré.

Il s'ensuivra que l'amortisseur ainsi réglé s'opposera à toute variation du tachymètre et, en particulier, au déplacement néces-

(1) Quels sont les procédés les plus recommandables pour l'amortissement des oscillations des régulateurs?

saire pour amener le régulateur en action lors d'une variation de charge. Le régulateur sera plus ou moins complètement bridé, et sa sensibilité ou rapidité d'action en sera considérablement diminuée.

L'amortisseur idéal serait donc un appareil agissant d'une façon différente suivant la rapidité de l'oscillation à amortir.

On a tenté, dans ces derniers temps, d'approcher de la solution cherchée, en munissant les deux faces des pistons des amortisseurs de petites soupapes facilement réglables qui s'ouvrent dès que la pression de l'huile dépasse une valeur déterminée.

Cette solution, employée surtout en Amérique, donne d'assez bons résultats.

Un amortissement électromagnétique ou, autrement dit, par courants de Foucault jouerait évidemment le même rôle, et d'une façon plus satisfaisante, à notre avis, puisqu'il ne présenterait pas la solution de continuité que présente le premier.

Malheureusement, aucun résultat obtenu avec une solution de ce genre ne nous a été communiqué.

Les oscillations à courte période peuvent également être amorties, comme le pense M. Rateau, par l'emploi de tampons de choc placés aux extrémités de la course du manchon.

Le compensateur Denis, par son entrée en jeu, peut de son côté annuler les oscillations à longue période.

Pour terminer cette discussion relative à l'amortissement, disons enfin, avec M. David, que le frein doit également agir contre les réactions des organes de distribution.

IX (').

Ce que nous venons de dire sur les oscillations montre que l'on a intérêt à réduire le plus possible les oscillations diverses dont nous avons parlé, en tant que cette réduction est compatible avec les données de la machine.

(¹) Quelle doit être la périodicité relative des oscillations d'un régulateur par rapport aux autres systèmes susceptibles d'osciller dans le groupe alternateur-moteur à vapeur?

Ceci signifie que la réduction des oscillations pourra porter seulement sur les oscillations propres du régulateur et sur celui du système formé par le régulateur et la distribution.

On est ainsi conduit à l'emploi de régulateurs à courte période d'oscillation, comme les régulateurs à ressort dont nous avons déjà parlé plus haut.

Il va sans dire que, pour éviter toute résonance, les périodes des diverses oscillations naturelles devront être différentes.

X (¹).

Avec la question X, nous arrivons à l'influence des expansions multiples sur les oscillations du régulateur dues aux variations de charge.

Cette influence a été mise en lumière d'une façon très simple par quelques-uns de nos collègues.

La cylindrée de vapeur introduite dans le petit cylindre devant opérer sur les différents cylindres à basse pression, l'action du régulateur, si une variation de charge se produit aussitôt après une admission, ne peut se faire sentir qu'après la détente complète de la vapeur. La rapidité d'action, toutes choses égales d'ailleurs, est donc diminuée.

Ceci suppose, comme c'est du reste le cas général, que le régulateur n'agit que sur l'admission dans le cylindre à haute pression.

Lorsque le régulateur agit sur les différents cylindres, ainsi que cela se passe dans les machines Van den Kerchove, son action se fait sentir un peu plus rapidement.

De plus, la vapeur, dans le réservoir intermédiaire, crée une contre-pression qui, dans une certaine mesure, peut tendre à diminuer le travail sur le petit cylindre.

Cette solution est donc un moyen terme entre l'emploi des machines monocylindriques et celui des machines compound à admission constante sur le gros cylindre.

Ainsi donc, l'emploi des multiples expansions a pour effet de

(¹) Quelle est l'influence des expansions multiples sur les oscillations du régulateur dues aux variations de charge?

diminuer la rapidité d'action du régulateur, condition déjà préjudiciable au bon fonctionnement en parallèle.

De plus, cette diminution de la rapidité d'action peut donner naissance à des oscillations nombreuses du régulateur avant que l'équilibre soit rétabli.

Ces oscillations peuvent se produire, que les machines fonctionnent seules ou en parallèle. Dans le second cas, la non-instantanéité des mises en jeu des régulateurs ou la non-concordance de phase des bielles peuvent encore les augmenter.

XI (').

La question la plus importante du questionnaire est évidemment celle relative aux oscillations à longue période.

Malheureusement, c'est celle sur laquelle nous avons recueilli le moins de renseignements.

Les oscillations à longue période prennent naissance à la suite d'une variation du travail résistant, sous certaines conditions de charge de la machine, et pour des conditions, difficiles à déterminer, de l'organe régulateur, et en particulier pour un amortissement trop énergique.

Dans le cas de deux alternateurs en parallèle, ces oscillations peuvent également provenir d'un balancement de puissance entre les deux machines par suite de la non-simultanéité des entrées en action des régulateurs.

Ce phénomène du balancement peut également se produire dans un alternateur seul commandé par deux moteurs monocylindriques.

L'étude des oscillations à longue période a été faite d'une façon magistrale pour les turbines hydrauliques par M. Léauté.

En ce qui concerne les moteurs à vapeur, la théorie est naturellement plus compliquée, mais on peut, croyons-nous, admettre que

(¹) Lorsqu'un régulateur est muni d'un frein à huile capable d'amortir énergiquement ses oscillations propres, n'est-il pas à craindre que chaque variation de charge ne détermine d'autres variations périodiques de vitesse pouvant atteindre une grande amplitude? Quels moyens de prévenir ces variations de vitesse?

les conditions qu'il est nécessaire de remplir pour empêcher la production des oscillations à longue période dans les turbines restent vraies pour les moteurs à vapeur.

M. Léauté a montré, en particulier, que l'on réduit à une valeur inférieure à la puissance à vide la puissance pour laquelle se produisent les oscillations à longues périodes : 1° en augmentant l'écart de vitesse pour une même variation de charge; 2° en réduisant la largeur de la plage de la courbe du régulateur; 3° en augmentant la force ou la puissance du régulateur.

Le régime ne pouvant descendre au-dessous de la puissance à vide, dans la marche en génératrice, bien entendu, ces conditions sont suffisantes pour annuler les oscillations à longue période.

On voit cependant que ces dernières pourraient apparaître si l'un des moteurs à vapeur se faisait entraîner par son alternateur.

Ces trois conditions sont en accord, en général, avec celles que nous avons trouvées plus haut pour le bon fonctionnement en parallèle, tant au point de vue de la répartition exacte des charges qu'à celui de la sensibilité du régulateur. Elles permettront de formuler des conclusions nettes, en ce qui concerne la conception des régulateurs pour moteurs destinés à la commande d'alternateurs fonctionnant en parallèle.

XII et XIII (1).

Les questions XII et XIII, qui terminaient notre questionnaire, ont permis à ceux de nos collègues qui ont eu à réaliser ou à diriger des stations centrales à courants alternatifs de nous apporter leur avis motivé sur la meilleure des solutions à adopter, *en général*, pour rendre plus facile la conduite des alternateurs fonctionnant en parallèle.

Trois solutions principales se partagent, à l'heure actuelle, les faveurs des mécaniciens et des électriciens.

(1) XII. Lorsque plusieurs alternateurs doivent fonctionner en parallèle, n'y-a-t-il pas avantage à laisser régler la vitesse de tout le système par un seul régulateur agissant sur une seule des machines à vapeur, tous les autres ne servant plus que d'organe de sécurité?

XIII. Ne vaut-il pas mieux, tout en n'employant qu'un seul régulateur, le faire agir simultanément sur les distributions de toutes les machines à vapeur?

La première, la plus naturelle, et, de ce fait, la plus employée, consiste à conserver à chaque moteur son régulateur agissant indépendamment des autres.

La deuxième, celle indiquée par notre question XII, réduit tous les régulateurs, sauf un, à de simples limiteurs de vitesse et reporte sur le régulateur unique le réglage de l'ensemble. La troisième, enfin, n'emploie également qu'un seul régulateur, mais le fait agir à la fois sur tous les moteurs, soit directement, en modifiant les admissions de chacun d'eux, soit indirectement, en opérant sur la conduite même d'arrivée de vapeur. Au point de vue général, pour les électriciens tout au moins, la première solution paraît devoir conserver le plus d'adeptes. C'est elle qui est employée du reste dans les secteurs à courants alternatifs de Paris et de la banlieue et dans quelques-unes des stations génératrices pour la traction électrique, avec transformation de courants alternatifs en courant continu.

On a objecté, à cette façon de faire, la nécessité d'avoir des moteurs à vapeur dont les régulateurs soient sensiblement identiques ou tout au moins aient le même écart de réglage.

Les régulateurs doivent, en outre, avoir dans ce cas une plus grande sensibilité.

La première condition est réalisée dans les usines, d'ailleurs nombreuses, où toutes les unités sont identiques. Mais il n'est pas nécessaire d'aller aussi loin dans l'homogénéité d'une installation pour obtenir une marche parfaite.

L'exemple du Secteur de la Rive gauche, qui comprend trois types d'unités très différents au point de vue de la commande des alternateurs, suffit pour montrer que la seule condition d'un écart de réglage à peu près le même pour tous les moteurs à vapeur rend le fonctionnement en parallèle très satisfaisant, malgré l'emploi de moteurs avec genres de distributions très différents (tiroirs plans, soupapes et tiroirs tournants) et avec régulateurs à écarts de réglage non identiques. Si, au point de vue mécanique, l'augmentation ou la réduction de la puissance à la fois sur toutes les unités peut être un inconvénient, par suite des oscillations à longue période que ces variations peuvent créer dans l'ensemble, il ne peut en être de même au point de vue électrique.

A ce point de vue, en effet, les alternateurs restent toujours dans les conditions de meilleure répartition de charge.

Au point de vue mécanique même, il suffit de réfléchir un peu à la question pour voir que l'ensemble ne se comportera nullement comme un groupe unique avec des variations de charge proportionnelles, ou même avec des variations de charge égales à celles qui se produiraient s'il n'y avait que des unités séparées.

Pratiquement, en effet, la réunion en parallèle de plusieurs groupes fonctionnant sur des réseaux séparés fournit un réseau ayant non des variations p fois plus grandes, si p est le nombre des machines mises en parallèle, mais p fois plus nombreuses.

Les alternateurs ont donc simplement à se partager les variations correspondant à un seul groupe qui se trouvent ainsi réduites au $p^{\text{ième}}$ pour chacun des alternateurs.

M. Rateau, dans le Mémoire annexé, propose une solution très ingénieuse pour parer aux inconvénients des perturbations causées, au point de vue mécanique, par l'emploi d'un régulateur par groupe.

Cette solution consiste à donner aux moteurs des régulateurs à grands écarts de réglage et à leur adjoindre des compensateurs de vitesse. Ces compensateurs seraient réglés pour des vitesses en régime normal un peu différentes les unes des autres.

L'emploi de ce dispositif aurait malheureusement pour effet de répartir inégalement les charges sur les machines, ce qui, électriquement, n'est pas sans inconvénient, tant au point de vue de l'importance des courants de circulation qu'au point de vue des fortes variations de charges qui pourraient se produire.

Néanmoins, pour des réseaux d'éclairage où les variations de charge sont en quelque sorte prévues, ce dispositif pourrait rendre des services importants.

Les troubles occasionnés par les régulateurs séparés n'ont du reste été souvent que passagers et ont tenu surtout à des conditions mécaniques non remplies dont il a été presque toujours facile de s'apercevoir par l'étude des phénomènes constatés.

La seconde solution a été très fortement prise à partie par notre collègue M. Chevrier, et un peu par moi-même. Les inconvénients de cette solution sont assez sérieux en général.

Tout d'abord, l'alternateur-régleur devient le véritable bouc

émissaire ou encore la tête de Turc de l'installation; c'est lui qui doit supporter toutes les variations de charge du réseau.

Si ces variations sont assez faibles, comme dans un réseau d'éclairage, il peut se faire que la fonction de cette machine ne soit pas trop pénible.

Dans ce cas, les avantages de cette solution peuvent l'emporter sur les inconvénients. Si, au contraire, les variations sont assez importantes, comme dans un service de traction, et peuvent atteindre, sans qu'on puisse le prévoir, la capacité de cette machine, sa décharge complète, ou sa surcharge exagérée, peuvent introduire des perturbations sérieuses dans le service et donner lieu à des accidents graves.

L'emploi d'une batterie-tampon de capacité moyenne par rapport à l'installation peut atténuer ces perturbations, mais non les annuler ni les rendre absolument inoffensives.

A côté de ces inconvénients, cette solution possède un avantage très sérieux au point de vue économique. Les groupes munis de simples limiteurs de vitesse fonctionnant toujours dans les meilleures conditions d'utilisation et de rendement, la consommation de vapeur y est minima et l'absence de variation permet encore de la réduire en rendant possible l'emploi des machines à multiples expansions.

En somme, cette solution mérite examen et peut, c'est l'avis de beaucoup de membres de la Commission, rendre des services importants dans quelques cas particuliers. Elle est d'ailleurs assez commune en Angleterre.

Un mot encore doit être ajouté à ce qui précède.

Jusqu'ici, nous n'avons parlé implicitement que des alternateurs synchrones. Avec les alternateurs asynchrones, cette solution serait la plus naturelle, si l'on faisait faire l'appoint par un alternateur synchrone, car le régulateur de ce dernier pourrait être lui-même regardé comme le régulateur de l'ensemble, la puissance fournie par les alternateurs asynchrones étant sensiblement proportionnelle au glissement.

La troisième solution, enfin, peut être regardée comme un perfectionnement de la première, puisqu'elle ne fait qu'augmenter la dépendance qui existe entre les régulateurs des différentes machines en

réduisant ceux-ci à un seul, agissant de la même façon sur tous les moteurs à vapeur.

Cette solution donnerait toute satisfaction au point de vue électrique, mais sa réalisation mécanique et même son fonctionnement parfait sont encore un peu douteux à l'heure actuelle. En effet, soit qu'on conçoive cette solution avec admission constante sur tous les moteurs en service et réglage de la vitesse par étranglement de la vapeur dans la conduite générale d'amenée, ou avec un dispositif mécanique agissant simultanément sur toutes les admissions, cette solution paraît hasardeuse dans le premier cas et difficile à réaliser dans le second.

Avec l'emploi d'un dispositif électrique permettant d'agir sur toutes les admissions simultanément, cette solution semblerait plus facilement réalisable, mais nous n'avons pas connaissance qu'elle ait été employée.

Tel est, Messieurs, le résumé des travaux de votre première Commission. Notre travail n'a pas la prétention d'être complet. Nous pensons qu'il y a encore beaucoup à dire sur la question intéressante des régulateurs; aussi nous espérons que quelques-uns de nos collègues voudront bien nous apporter leurs lumières.

NOTES ET MÉMOIRES COMMUNIQUÉS A LA PREMIÈRE SECTION.

ROLE DES RÉGULATEURS DE VITESSE ⁽¹⁾;

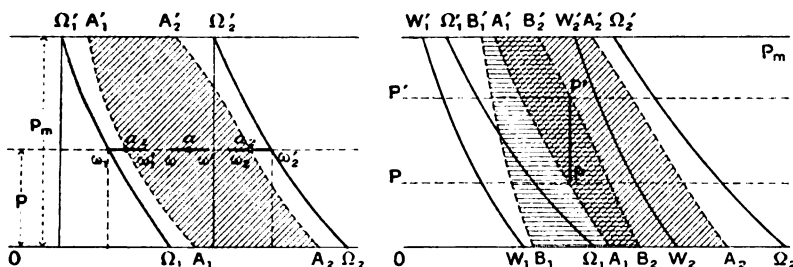
PAR M. A. BLONDEL.

Les régulateurs à action directe employés pour les moteurs à vapeur se composent d'un tachymètre actionnant un organe de réglage (valve, came ou excentrique); celui-ci présente toujours, en pratique, une résistance passive plus ou moins forte qui retarde l'action du tachymètre. La loi qui lie la vitesse du moteur à sa puissance sera donc représentée par deux courbes distinctes (*fig. 1*) correspondant, l'une, (Ω_1, Ω_2) , au cas où l'action du régulateur est provoquée par une diminution de vitesse, et l'autre, (Ω'_1, Ω'_2) , au cas où elle est provoquée par une accélération. Ces deux lignes constituent le diagramme pratique du régulateur ⁽²⁾.

Pour chaque valeur de la puissance P , la vitesse de l'arbre de couche peut osciller entre les deux valeurs ω_1 et ω'_2 sans qu'il se produise de déplacement du tachymètre. L'écart $\omega_1 - \omega'_2$ mesure donc la stabilité du régulateur.

Pour assurer une bonne régulation, la première condition à réaliser est, évidemment, que l'amplitude des oscillations de vitesse du volant dues à la variation du couple moteur à chaque tour, et représentées par le segment $\omega\omega'$, soit inférieure à l'écart $\omega_1 - \omega'_2$, faute de quoi ces oscillations

Fig. 1 et 2.



dérégleraient la machine à chaque tour; il doit en être de même lorsque ces oscillations de vitesse se trouvent modifiées par les réactions du couple. C'est là un motif important, comme on le voit, pour faire adopter un volant d'assez forte masse. Quand cette condition est réalisée, la vitesse moyenne peut varier entre les points a_1 et a_2 , sans qu'il y ait déplacement du tachymètre. Supposons que ces points aient été déterminés pour chaque

⁽¹⁾ Reproduction d'une étude de M. A. Blondel publiée en 1892 (*Lumière électrique*, t. XLVI, p. 365).

⁽²⁾ Ce diagramme est une généralisation de celui indiqué par M. Dwelshauvers-Déry (*Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, janvier 1889, p. 33), mais la théorie que je présente ici sommairement est notablement différente de celle de l'éminent professeur

valeur de la puissance; on aura deux nouvelles lignes $A_1A'_1$, $A_2A'_2$ qui déterminent les conditions de fonctionnement stable du moteur, la vitesse moyenne devant être comprise dans la portion couverte de hachures. Pour que la régulation fût aussi sensible que possible, il faudrait, évidemment, amener à zéro l'écart $\overline{a_1 - a_2}$, c'est-à-dire réduire la stabilité à l'écart de la vitesse du volant.

Ceci posé, considérons le cas de deux alternateurs égaux couplés en parallèle et commandés chacun par un moteur spécial, et superposons, sur la même épure (*fig. 2*), les diagrammes des deux régulateurs. La condition nécessaire pour qu'il puisse y avoir égalité de charges à tous les régimes est que les deux portions couvertes de hachures aient une région commune, s'étendant depuis l'axe des Ω jusqu'à l'horizontale P_m . Mais cette condition ne suffit pas à assurer l'égalité absolue, puisqu'à une même vitesse commune v la puissance de chaque moteur pourra varier de P à P' ; il pourra donc s'établir un décalage permanent entre les deux alternateurs sans changement de vitesse; et ce décalage pourra subir des variations périodiques que le régulateur sera impuissant à prévenir, si elles sont assez lentes pour que la vitesse ne sorte pas de la région commune de stabilité.

Pour réaliser les meilleurs couplages, il faudrait réduire cette région au minimum; le seul moyen pratique pour cela est d'amener les portions hachurées des diagrammes de chaque régulateur en coïncidence et de les réduire ensuite autant que possible.

En pratique, les régulateurs bien construits possèdent tous deux organes modifiables, permettant de régler à volonté la vitesse moyenne et le degré d'isochronisme, c'est-à-dire l'inclinaison des lignes $\Omega_1\Omega_2$ et $\Omega'_1\Omega'_2$. On pourra donc, par tâtonnements, donner à peu près les mêmes valeurs à ces constantes pour les deux régulateurs, s'ils sont pareils. Pour réduire la surface hachurée, on devrait pouvoir modifier encore à volonté la stabilité $\Omega' - \Omega$ à l'aide d'un troisième organe de réglage, faisant office de frein plus ou moins fort. Il faudrait, en outre, disposer le régulateur de façon à faire croître la stabilité proportionnellement à la charge, et faire tendre ainsi la surface hachée vers une simple droite, ce qui serait le diagramme idéal. Ces dernières conditions, bien qu'elle soient d'une réalisation possible, ne sont, en général, pas remplies. Mais, même dans ce cas, on peut obtenir en pratique un diagramme satisfaisant et dans lequel l'inégalité de charge est assez limitée, surtout aux fortes charges.

Les limites seront d'autant plus étroites que l'isochronisme sera moins parfait, c'est-à-dire qu'on admettra un plus grand écart total de vitesse $\Omega_2 - \Omega'_1$. On devra donc donner à celui-ci la plus grande valeur admissible au point de vue de la fréquence et du voltage, et non se préoccuper, comme on le fait trop souvent, de réaliser l'isochronisme absolu, qui serait déplorable s'il pouvait exister.

NOTE DE M. RATEAU.

Messieurs, j'ai l'honneur de répondre ci-dessous au questionnaire qui a été posé par la première Section de la *Société des Électriciens* au sujet des régulateurs des machines à vapeur. Je suivrai l'ordre même des questions.

I. On facilite en effet beaucoup le fonctionnement en parallèle des alternateurs en donnant, aux régulateurs des machines à vapeur qui les conduisent, des chutes de vitesse importantes avec la charge. Cela résulte immédiatement de ce que les oscillations, lors des variations de charge, sont considérablement réduites quand on augmente la *stabilité* du régulateur. Habituellement, l'écart de vitesse entre la marche à vide et la marche à pleine charge est de 4 à 5 pour 100. Il serait préférable, pour le réglage, d'élever cet écart jusqu'à 10 pour 100, par exemple, mais il deviendrait alors nécessaire d'employer, comme je le dirai plus loin, un organe supplémentaire ramenant la vitesse à la même valeur *en régime permanent*. Cet organe supplémentaire peut être le compensateur Denis, employé par plusieurs constructeurs, ou tout autre dispositif équivalent.

Il serait évidemment très utile, comme on l'indique dans le questionnaire, de donner un nom spécial à la chute relative de vitesse entre la marche à vide et la marche à pleine charge. On a proposé différentes appellations telles que : *écart relatif de vitesse*, *degré d'isochronisme*, *amplitude de réglage*, etc. L'appellation proposée dans le questionnaire (*écart de réglage*) est sans doute meilleure que les précédentes, mais il serait encore mieux, à mon avis, de n'employer qu'un seul mot. J'ai proposé naguère le mot de *décroissement* du régulateur qui a, malheureusement, le défaut de n'être pas très euphonique. En la circonstance, on pourrait peut-être créer un mot nouveau.

Du reste, l'écart de réglage visé dans la première question n'est pas le seul intéressant à considérer dans un tachymètre. Il faut aussi avoir égard aux écarts dus : 1° aux frottements des articulations du tachymètre lui-même et des pièces avec lesquelles il est en relation, et 2° à la réaction plus ou moins variable de l'organe régulateur de la machine : valve d'étranglement de vapeur, ou pièce provoquant la variation du degré d'admission au cylindre.

II et III. Quelle est la meilleure forme de la courbe représentant la vitesse angulaire en fonction de la charge?

La réponse ne peut pas faire de doute : la meilleure forme est la ligne droite. Mais il faut aussi chercher à faire en sorte que la puissance de la

machine soit proportionnelle au déplacement de l'index du tachymètre, de manière qu'en définitive la vitesse de la machine décroisse linéairement quand sa charge augmente.

IV. Pour maintenir la fréquence constante, le moyen le plus simple, parmi ceux actuellement connus, me paraît être l'emploi du compensateur Denis, qui permet l'usage d'un régulateur très stable, à grand écart de réglage. Par cette combinaison du compensateur avec les tachymètres ordinaires, on réalise un ensemble qui satisfait parfaitement aux deux objets qu'un régulateur a à remplir, savoir : 1° assurer la constance de la vitesse en régime permanent; et 2° rétablir rapidement le régime permanent après qu'il s'est produit une variation brusque de la charge.

V. L'explication à donner d'une chute de vitesse importante est des plus simples : c'est qu'elle réduit considérablement les oscillations après une variation brusque de charge; et qu'aussi elle atténue l'influence des frottements des articulations et de la réaction de l'organe régulateur. On le voit aisément à l'aide de diagrammes tracés suivant la méthode préconisée autrefois par M. Léauté, diagrammes que j'ai utilisés et développés dans mon étude sur les régulateurs des turbines hydrauliques.

Les conclusions auxquelles je suis parvenu pour les turbines hydrauliques sont presque toutes applicables aux moteurs à vapeur.

VI. Les types de régulateurs qui permettent le plus facilement les variations voulues de vitesse avec la charge me paraissent être les régulateurs à marche rapide, dans lesquels la force centrifuge des pendules est équilibrée par des ressorts.

VII. Dans les tachymètres à ressort, la période de vibration peut se calculer aisément. Il y a intérêt à réduire autant qu'on le peut cette période. C'est précisément en cela que les régulateurs rapides ont un grand avantage.

VIII. Le compensateur Denis provoque, quand il est bien établi, l'amortissement des oscillations du régulateur; mais il est aussi très bon d'y adjoindre un frein à huile, que l'on peut du reste régler pour l'amortissement critique.

IX. La périodicité relative des oscillations d'un régulateur doit être aussi courte que possible pour que le réglage soit parfait. Mais il est possible d'obtenir un réglage satisfaisant avec des régulateurs à période lente, à la condition de choisir convenablement cette période.

X. L'influence des expansions multiples sur les oscillations d'un régulateur lors des variations de charge s'explique aisément; elle est tout à fait analogue à celle d'un retard de temps dans l'action d'un régulateur; analogue encore à celle du frottement dans les articulations. On voit faci-

lement cette influence par les diagrammes tracés suivant la méthode Léauté.

XI. Un amortissement trop énergique par un frein à liquide est évidemment nuisible; il convient, ainsi que je l'ai dit tout à l'heure, conformément du reste à l'opinion que m'a aussi exprimée M. Blondel, de régler cet amortissement à la valeur dite *critique*.

XII et XIII. Si l'on met un régulateur sur chaque machine conduisant des alternateurs accouplés en parallèle, il faut prendre certaines précautions si l'on veut éviter les oscillations. En l'absence de toute autre cause d'oscillation que celle provenant des régulateurs, il faut que ceux-ci aient un grand écart de réglage et qu'ils soient très sensibles, c'est-à-dire sans frottements notables, que leur période d'oscillation soit sensiblement la même et, enfin, qu'ils soient ajustés de manière qu'ils indiquent sensiblement la même vitesse dans la marche à vide et dans la marche à pleine charge. Mais alors ils réduiront simultanément les puissances de toutes les machines comme s'il n'y avait qu'un seul régulateur agissant sur toutes les machines à la fois.

Or ce système, qui consiste à réduire ou à augmenter simultanément la charge de toutes les machines, est évidemment mauvais au point de vue de l'économie. Il vaudrait mieux que toutes les machines en marche fonctionnassent à pleine charge, sauf une. Ce résultat pourrait peut-être être atteint de la manière la plus simple, avec la combinaison nouvelle que je propose, consistant dans l'emploi de régulateurs à grands écarts de réglage pourvus de compensateurs Denis. On réglerait les compensateurs de façon qu'ils donnent, pour les différentes machines, des vitesses de régime permanent un peu différentes de l'une à l'autre. Ainsi, par exemple, s'il y a quatre machines fonctionnant aux environs de 100 tours par minute, le tachymètre de l'une serait réglé pour marcher à 99 tours, d'une autre à 100 tours, d'une troisième à 101 tours et enfin de la dernière à 102 tours. De cette manière, il ne pourrait jamais y avoir, en régime permanent, qu'une seule machine fonctionnant à charge réduite; les autres seraient ou à pleine charge ou à charge nulle, et ces dernières seraient, naturellement, arrêtées par le mécanicien.

NOTE DE M. M. MIET.

Comme suite à votre Circulaire du 1^{er} janvier, je réponds à quelques-unes des questions qu'elle pose et sur lesquelles je crois avoir des idées nettes.

V^e question, relative à l'utilité de l'écart de réglage pour la marche en parallèle :

Quand, sur un groupe d'alternateurs accouplés, il survient une variation de régime, par suite d'un allumage important par exemple, les régulateurs des diverses machines ont à fonctionner simultanément pour répondre à la demande supplémentaire de courant. Or, ils ne sauraient être tous identiques sous le rapport des frottements, jeux aux articulations, freinage des cylindres à huile, etc. Par suite, leurs mouvements ne seront pas absolument simultanés, ni de la même amplitude; à la suite de leur action, les machines que nous pouvons supposer avoir été préalablement dans les mêmes conditions de puissance développée n'y seront plus après.

Pour atténuer ce dérèglement qui, s'il était important, compromettrait la correction de la marche, il faut que l'influence des frottements, jeux, etc. soit la plus faible possible. Il faut donc qu'un petit déplacement de ces organes n'influe pas trop sur la puissance développée, c'est-à-dire qu'à une variation de puissance donnée corresponde un déplacement suffisant par rapport aux jeux et, par suite, une variation de vitesse suffisante. Il faut donc, en un mot, un écart de réglage suffisant.

Questions VII, IX et XI, relatives aux oscillations propres des régulateurs :

Je suppose d'abord qu'on doit entendre, par oscillations propres d'un régulateur, celles qu'on observerait, la machine étant en marche sur régime établi, en rompant la connexion qui lie le manchon aux organes de distribution, puis en donnant, dans cette situation, une impulsion au manchon le long de sa coulisse, sans que cette impulsion puisse troubler le régime, c'est-à-dire modifier la vitesse angulaire.

On trouvera expérimentalement que, dans ces conditions, les oscillations s'amortissent, sans frein à huile, tellement vite que leur périodicité n'est pas mesurable.

Ces oscillations propres des régulateurs n'ont, à mon avis, qu'une importance négligeable, et *ce n'est pas celles-là* que le constructeur cherche à amortir avec le frein à huile, dont la puissance serait tout à fait disproportionnée pour cet usage.

L'objet du frein à huile est, indépendamment du cas d'alternateurs en

parallèle, d'amortir les oscillations d'ensemble de la machine et de son régulateur, en modérant le déplacement du manchon de manière qu'il ne dépasse pas la valeur suffisante pour la compensation stricte de la variation de vitesse qui a provoqué ce déplacement. Mais il ne faut pas, non plus, que le frein à huile soit trop énergique, car c'est alors qu'il serait la cause de ces mêmes oscillations qu'il devait amortir (votre XI^e question), en retardant l'action du régulateur.

Le frein à huile est, du reste, un expédient fort imparfait. Il agit de deux manières :

1^o En modérant l'amplitude, au bout d'un temps donné, du déplacement du manchon : c'est la bonne ;

2^o En retardant l'action du régulateur : c'est la mauvaise, car il est évidemment fâcheux de différer l'action d'un appareil automatique qui doit répondre le plus vite possible à la provocation progressive dont il est l'objet et dont il doit limiter la cause avant qu'elle ait atteint une trop grande valeur.

Du reste, il y a lieu de remarquer qu'un frein à huile ayant un réglage déterminé, sur une machine donnée, ne convient exactement que pour les variations du régime qui donneront à la machine une accélération positive ou négative donnée et que, pour toutes autres variations de régime plus ou moins brusques, il tendra à faire naître ces oscillations qu'il importe d'éviter.

Mais revenons au cas d'alternateurs en parallèle.

L'utilité du frein à huile me paraît, dans ce cas, être analogue à celle de l'écart de réglage :

Au moment d'une variation de régime sur un groupe d'alternateurs accouplés, le régulateur le plus libre de frottements ou ayant le moins de jeu agira $\frac{1}{10}$ de seconde, par exemple, avant les autres, et poussera sa machine hors de phase d'un angle qui dépend du déplacement effectué pendant ce dixième de seconde.

S'il y a des freins à huile, ce déplacement pourra être insignifiant par rapport au déplacement total nécessité par la variation de régime, et les divers régulateurs se suivront de près, quoique, ou plutôt, parce que tous seront retardés par leurs freins respectifs, dont l'effet sera ainsi de les solidariser entre eux, ce qui vaut mieux, à mon avis, que les complications proposées par vos XII^e et XIII^e questions.

Il me paraît à souhaiter que les régulateurs à force centrifuge soient réduits au rôle de limiteurs de vitesse au cas d'emballements et que la régulation du couple moteur soit commandée électriquement par un wattmètre, ce qui éliminera l'influence de l'inertie des masses en mouvement.

Cela permettrait, de plus, de faire des machines à vitesse constante ou même à vitesse croissant avec la charge (compoundage naturel).

NOTE DE M. C.-F. GUILBERT.

Dans les réponses aux différentes questions posées par la première Section du Comité, je me suis limité sensiblement à la partie électrique.

I. La nécessité d'une définition spéciale pour la chute de vitesse s'impose depuis longtemps, pour faciliter les relations entre électriciens et constructeurs de moteurs à vapeur.

Le degré d'isochronisme, ou mieux le degré de non-isochronisme, constitue en effet le point sur lequel les uns et les autres s'accordent le moins facilement.

La raison en est que le constructeur de machines à vapeur pense qu'on veut le faire revenir en arrière en lui demandant une machine ayant des propriétés (qui sont inconvénients pour lui) qu'il a passé de longues années à faire disparaître.

Imposer un écart de vitesse déterminé entre zéro et pleine charge n'est pas encore suffisant, il faut de plus que l'organe régulateur ou mieux, suivant l'expression de M. Rateau, le tachymètre, soit tel, qu'une variation de même valeur que l'écart de réglage demandé puisse être obtenue avec la marche à vide seule, ce qui nécessite l'emploi d'un dispositif supplémentaire indépendant, qui peut être le même que celui nécessaire au maintien de la fréquence.

En outre, la vitesse moyenne du moteur doit être, pour la plus faible vitesse angulaire, sensiblement aussi constante dans le temps que pour la marche en pleine charge à la même vitesse; cette condition est en général mieux remplie sur les machines à soupapes que sur celles à tiroirs.

II et III. J'ai eu l'occasion de rechercher l'allure des courbes représentant la vitesse angulaire en fonction de la charge.

Ces courbes ont en général leur convexité tournée du côté de l'origine; elles tombent donc rapidement avec la charge, puis s'inclinent de moins en moins sur l'horizontale.

Cette forme de courbe est assez satisfaisante au point de vue du couplage en parallèle, puisqu'elle assure surtout une équivalence facile des charges pour les faibles régimes. Pour les régimes voisins de la pleine charge, les moteurs à vapeur limitent eux-mêmes leur puissance, sauf toutefois ceux fonctionnant avec de très faibles introductions.

La forme idéale n'en reste pas moins la ligne droite avec réduction, aussi parfaite que possible, de la plage comprise entre les courbes limites.

IV. Le moyen de maintenir la fréquence constante peut être ou électrique, ou mécanique.

Un procédé électrique me paraît préférable, car il peut se commander du tableau de l'usine.

En principe, chaque régulateur de fréquence doit pouvoir être manié indépendamment des autres, mais l'ensemble des régulateurs de fréquence peut être commandé par un organe unique, et automatiquement autant que possible.

Les régulateurs de fréquence peuvent agir sur les distributions des moteurs à vapeur, ou sur la vanne d'arrivée de vapeur.

V. L'influence de la chute de vitesse sur le bon fonctionnement en parallèle est connue depuis une dizaine d'années et a été étudiée principalement par M. Blondel.

Le but qu'on poursuit en donnant un écart de réglage assez important avec la charge est de forcer les alternateurs couplés en parallèle à prendre des charges bien déterminées, fonction uniquement de la position des régulateurs.

Plus la chute de vitesse est grande, mieux est déterminée la stabilité du fonctionnement, puisqu'à chaque variation de charge doit correspondre une plus grande variation de vitesse.

VIII. L'amortissement des oscillations des régulateurs a été obtenu jusqu'ici avec des amortisseurs à huile. Nous pensons que les amortissements par les courants de Foucault pourraient être également très efficaces.

X. J'ai toujours été opposé à l'adoption des machines à expansions multiples pour la commande d'alternateurs destinés à fonctionner en parallèle.

Les multiples expansions retardent l'action du régulateur et ont pour inconvénient de donner lieu à des consommations de vapeur assez fortes, dès qu'on fonctionne avec une charge réelle un peu inférieure à la charge nominale, comme c'est le cas pour le service de jour sur un réseau avec transformateur chez les abonnés.

Leur emploi devient seulement possible dans un seul cas, de plus en plus rare du reste, celui d'un réseau d'éclairage où ces machines ne sont employées qu'aux heures de la pleine charge.

Je les crois tout à fait impropres à un service de transport de force motrice, ou à un service de traction par commutatrice, même avec batterie-tampon.

En ce qui concerne l'action des multiples expansions sur les oscillations du régulateur, c'est une question à résoudre par les constructeurs de machines à vapeur.

XI. Oui, un amortissement trop énergique peut déterminer des oscilla-

lations à longue période qu'il est presque impossible de faire disparaître autrement que par une modification assez importante du régulateur lui-même.

XII. Le procédé indiqué à ce paragraphe n'est guère applicable que sur des réseaux à variations faibles et à charges progressives, ou pour des réseaux avec plusieurs génératrices asynchrones et une synchrone... lorsqu'il en existera.

Avec des variations dépassant la capacité d'une unité, ce procédé serait particulièrement dangereux.

Il a, toutefois, un avantage sérieux, au point de vue du réglage de la tension aux bornes, puisqu'il suffit d'agir sur une seule machine; mais ceci est un ennui lorsque les variations sont trop fortes.

XIII. Ce second procédé de réglage est préférable au premier, car il intéresse toutes les machines aux variations et réduit, par suite, par rapport à chaque machine, l'importance de ces variations dans la proportion du nombre de machines.

C'est la solution qui me paraît préférable, à condition de se réserver la possibilité d'agir sur une machine quelconque, seule en cas de besoin.

En somme, la solution qui me semble parfaite est la suivante :

Conserver, à chaque moteur, son régulateur comme s'il marchait seul, et maintenir la fréquence constante par un régulateur unique automatique et, autant que possible, à manœuvre électrique.

MÉMOIRE DE M. VAN DER STEGEN.

I. L'écart de réglage des régulateurs est une donnée courante dont les contrats de vente stipulent la limite.

En général, celle-ci est de 3 à 4 pour 100, l'écart étant pris entre les vitesses à vide et à pleine charge.

Parfois on exige 2,5 pour 100; mais c'est à tort, à notre avis, qu'on exige un isochronisme aussi parfait, et il vaut mieux, bien souvent, sacrifier un peu de celui-ci au profit de la stabilité, qui est bien plus importante dans la plupart des cas, notamment dans celui de la marche en parallèle des alternateurs.

II et III. La courbe que nous réalisons se rapproche très sensiblement d'une droite : à peine est-elle légèrement concave vers le haut.

Une forte courbure ne paraît pas désirable.

En effet, il faut qu'une variation de charge déterminée, que la machine soit fortement chargée ou non, affecte de la même façon le régulateur, car, l'inertie du volant étant la même, l'action compensatrice de celui-ci agira dans les mêmes limites.

Cependant il est préférable que la courbe soit plutôt concave que convexe vers le haut, parce que l'instabilité est pratiquement plus à craindre pour les petites admissions.

C'est pour les petites introductions, en effet, que les causes perturbatrices ont le plus d'importance et qu'une imperfection de la distribution est plus sensible; par conséquent, il peut y avoir avantage, pour ce motif, à donner un peu plus de stabilité et, comme corollaire, un isochronisme moins parfait aux faibles charges.

IV. Très généralement, on se contente de dispositifs qui se règlent à la main, ce qui est très suffisant lorsque l'écart de réglage n'est pas trop grand ou lorsque la charge varie peu; la solution complète de la question consisterait dans l'emploi d'un appareil qui ramènerait, constamment et automatiquement, la vitesse à un taux uniforme.

Malheureusement, les appareils mécaniques ont le grand défaut de ne pas faire cette correction instantanément, mais seulement après que la différence de vitesse s'est produite; de plus, leur action est relativement lente et, pour cette raison, lors des fréquentes et brusques variations de charge, leur action compensatrice est insuffisante et tardive.

Le dispositif idéal consisterait dans un appareil qui serait sous l'influence directe, grâce à un moyen mécanique ou électrique, de la charge même de la machine.

Nous n'avons pas connaissance d'appareils de ce genre qui aient été employés avec succès.

V. Nous ignorons s'il existe des raisons d'ordre électrique qui expliquent la nécessité d'une chute de vitesse importante pour le fonctionnement des alternateurs en parallèle.

Au point de vue mécanique, le seul que nous soyons à même d'examiner, l'explication de ce fait nous paraît facile à donner.

L'isochronisme d'un régulateur influe, en effet, sur sa stabilité, et l'on peut dire, en règle générale, que, toutes choses égales d'ailleurs, l'instabilité devient de plus en plus grande au fur et à mesure que le degré d'isochronisme devient plus parfait.

On pourrait comparer, sous ce rapport, la position d'équilibre du régulateur à celle d'une bille à la partie inférieure d'une rigole concave.

Plus la courbure de celle-ci est atténuée pour se rapprocher de la ligne droite, plus l'équilibre de la bille devient instable.

Une action perturbatrice qui la dérangera de sa position d'équilibre aura d'autant plus d'effet que la courbure sera moins prononcée.

L'équilibre d'un régulateur est du même genre, et un isochronisme trop parfait a pour effet d'exagérer les oscillations qui peuvent se produire par suite de son inertie, lors d'une brusque variation de charge.

Or, pour la marche des alternateurs en parallèle, la stabilité est une condition essentielle de bon fonctionnement; il est donc bien naturel de réduire l'isochronisme au profit de la stabilité.

Pour arriver à concilier le mieux ces deux qualités, il faut des régulateurs de peu d'inertie, ayant peu de résistances à vaincre, comme ceux des machines à déclié.

VI. Les régulateurs à ressorts, de tension réglable, permettent de modifier aisément le degré d'isochronisme.

Cependant les régulateurs à poids ordinaires peuvent être assez facilement rendus plus ou moins isochrones également, soit par l'adjonction d'un ressort spécialement destiné à cet effet, soit par l'application d'un levier à contrepoids. L'angle de ce levier avec la verticale est variable avec la hauteur du manchon, et le moment du poids peut passer, par conséquent, de zéro au maximum. Suivant que le poids se trouve plus ou moins éloigné du pivot de levier, d'un côté ou de l'autre, son action peut à volonté être positive ou négative et affecter le taux désirable.

VII. Les régulateurs que nous employons ont une période propre très courte, en comparaison de celle des oscillations pendulaires qui pourraient les affecter pendant la marche des machines.

Dans les machines ordinaires de stations centrales à volant relativement lourd, les oscillations qui tendent à se produire lors d'une brusque varia-

tion de charge ont une période très longue par rapport aux oscillations propres des régulateurs.

Quant aux oscillations pendulaires permanentes, elles ne peuvent se produire, lorsque les régulateurs sont bien construits, que par suite d'un défaut de moment d'inertie du volant; l'oscillation propre du régulateur ne nous paraît pas devoir influer sur elles, mais cela dépend, bien entendu, des différents éléments en présence.

Il est possible que, dans certaines machines à grande vitesse à petit volant, un certain synchronisme puisse exister entre les deux genres d'oscillations.

VIII. Pour répondre à cette question, ainsi qu'à celle qui porte le n° XI, et qui s'y rapporte immédiatement, il importe, précisément, de bien distinguer les deux espèces d'oscillations dont nous venons de parler.

Supposons un régulateur tournant à vitesse constante, sous l'action d'une courroie, par exemple, qui le relie à une transmission d'atelier; si l'on écarte momentanément le manchon de sa position d'équilibre, il y reviendra plus ou moins vite et oscillera de part et d'autre du point qu'il occupait, à la façon d'un pendule.

Ces oscillations seront très accusées si le régulateur est libre et n'a pas de frein; elles pourront être complètement amorties, au contraire, s'il est muni d'un dashpot suffisamment bridé; en ce cas le manchon regagnera sa place lentement et s'y arrêtera sans osciller sensiblement.

Les oscillations propres des régulateurs dont il s'agit dans ce cas sont toutes différentes de celles qu'on constate sur les régulateurs de machines en marche, car les phénomènes qui leur donnent naissance sont alors beaucoup plus complexes.

Lorsqu'une machine *isolée*, en régime normal, est brusquement déchargée d'une partie de sa résistance, son allure s'accélère progressivement. Si le régulateur obéissait instantanément et fidèlement à cette variation de vitesse, son manchon s'élèverait au fur et à mesure et s'arrêterait, sans aucune oscillation, à sa nouvelle position d'équilibre.

Mais il n'en est généralement pas ainsi : les frottements, l'inertie t font en sorte que le manchon s'attarde à son ancienne position et le dashpot vient encore accentuer le retard en ralentissant son déplacement.

Il en résulte que, lorsque le manchon aura atteint la nouvelle place à laquelle il devra se maintenir pour le nouveau régime de charge, la machine s'est déjà plus ou moins emballée, et deux causes poussent dès lors le régulateur au delà de sa position d'équilibre : l'accélération momentanée excessive de la machine et, en second lieu, la composante d'inertie des masses du régulateur dans le sens du déplacement du manchon.

Tel est le point de départ de l'oscillation du régulateur qu'accompagne, que précède plutôt, l'oscillation de la vitesse de la machine.

Une fois la nouvelle position d'équilibre dépassée, le manchon s'arrêtera plus ou moins vite, reviendra en arrière pour aller encore une fois trop loin, et ainsi de suite.

Ces oscillations, généralement, iront en s'atténuant pour finir par s'éteindre, mais ce n'est pas toujours le cas :

Des conditions déterminées, notamment un volant de machine très léger, une inertie du régulateur très forte, des résistances passives importantes, peuvent avoir pour effet d'aggraver leur amplitude jusqu'à la limite compatible avec les extrémités de la course du manchon.

Ces oscillations deviennent alors permanentes.

Si les éléments en présence sont tels que ce phénomène puisse se produire, la stabilité du régulateur est toujours précaire et son équilibre est forcément instable, car la moindre influence perturbatrice peut provoquer des oscillations pendulaires permanentes.

Revenons à la question principale : Comment peut-on atténuer ou amortir ces oscillations, qu'elles soient momentanées ou permanentes ?

Le dispositif généralement employé est le frein à huile ou dashpot amortisseur, mais il est aisé de se rendre compte que ce remède est d'une efficacité tout à fait relative.

Le rôle du dashpot, en effet, pendant le phénomène que nous analysons plus haut, est double : il commence par être défavorable, puisqu'il empêche le manchon de gagner assez promptement sa position d'équilibre, et il ne devient utile que pour combattre les effets de l'inertie, au moment où cette position est atteinte.

L'effet utile du frein à huile, suivant qu'il est plus ou moins énergique, passe donc par un maximum pour une résistance donnée; s'il est trop libre, il n'a pas d'action pour arrêter les oscillations propres du régulateur; s'il est trop bridé, il rend le régulateur si paresseux que les oscillations de la vitesse s'en trouvent aggravées, sinon comme nombre, du moins comme amplitude.

Il faut donc conclure que l'efficacité du frein à huile est limitée, qu'il a pour but d'éviter les oscillations propres des régulateurs, mais qu'il ne peut pas, d'une façon positive, assurer la stabilité de la *vitesse* d'une machine dont la régularité et le volant ne rempliraient pas les conditions voulues.

On a, dans ces derniers temps, cherché à améliorer le fonctionnement des dashpots en les munissant de petites soupapes spéciales qui s'ouvrent automatiquement, lorsque la résistance exercée devient trop grande.

De cette façon, le régulateur est fortement bridé sans inconvénient, lorsqu'il est assez rapproché de sa partie moyenne, tandis que, s'il s'en trouve fort éloigné, l'effort qu'exerce le régulateur est tel que les petites soupapes s'ouvrent et le déplacement du manchon peut se faire très rapidement.

Cet artifice constitue effectivement une amélioration sensible; c'est un

correctif au rôle funeste du dashpot, lors des fortes variations de charge ; il peut donc contribuer à augmenter son efficacité, sans cependant la rendre absolue, car, comme nous le disions plus haut, c'est une relation déterminée entre les éléments du régulateur et l'inertie du volant, qui, seule, peut assurer d'une façon positive et certaine la stabilité du régulateur et de la vitesse de la machine.

Plus le régulateur aura de frottements à vaincre, plus il aura d'inertie propre, plus le moment d'inertie du volant devra être élevé.

Il faut, pour employer une expression peu précise, mais juste, *que le régulateur soit moins paresseux que le volant* ; alors seulement, il suivra d'assez près les variations de vitesse pour que les oscillations soient nulles ou négligeables, susceptibles d'être annihilées ou amorties rapidement par le dashpot.

Si le contraire est réalisé dans une certaine mesure, les oscillations sont inévitables, et le frein à huile est incapable de les éviter ; on pourrait même ajouter : au contraire !

On a souvent perdu de vue ce rôle spécial du volant, tout à fait indépendant de celui qu'il remplit au point de vue de la régularité dans le tour.

Ainsi, on admet généralement que les moments d'inertie, pour des machines de puissance donnée, doivent être en raison inverse de la vitesse de rotation.

Cela est exact pour la régularité dans le tour, mais non au point de vue de l'effet pondérateur du volant comme accumulateur d'énergie, lors des variations de charge.

Qu'une machine de puissance donnée tourne à 60 ou 120 tours, voire à 500 tours, le temps que met le régulateur à changer de position est sensiblement le même, et l'énergie à emmagasiner ou à fournir est aussi la même.

Quelle que soit la vitesse, le moment d'inertie doit donc être identique *sous ce rapport*.

C'est ce qu'on n'observe pas toujours, et c'est pourquoi les machines à vitesse accélérée ont souvent des régulateurs instables, animés d'oscillations pendulaires qui se constatent beaucoup moins dans les machines lentes.

Pour les machines à grande vitesse et les turbines, la difficulté pratique de réaliser des moments d'inertie très considérables, étant donnés les petits diamètres de jantes auxquels on est tenu par la résistance de la matière, constitue un inconvénient sérieux pour ces machines, lorsqu'elles doivent faire face à de brusques variations de charge.

Dans le même ordre d'idées, on donne quelquefois à tort des volants trop légers aux machines à plusieurs manivelles, parce qu'on les établit uniquement en vue de la régularité dans le tour.

Comme il importe de rendre les volants aussi légers que possible, non seulement pour des raisons commerciales, mais parce que le couplage est difficile lorsque les masses à embrayer magnétiquement sont trop considérables, il y a toujours avantage à agir autant que possible sur les régulateurs :

1° En les rendant très stables par eux-mêmes, c'est-à-dire en ne leur donnant pas un degré d'isochronisme trop parfait, ce qui exigerait un dashpot trop énergique ;

2° En réduisant l'inertie du manchon et des masses ;

3° En limitant les frottements au minimum, car c'est l'élément le plus pernicieux, dont il faut se défier avant tout.

On a souvent assimilé le frein à huile à une résistance passive supplémentaire. C'est une confusion tout à fait erronée : le dashpot ralentit les déplacements du manchon, mais il ne les empêche pas ; les frottements, au contraire, calent le régulateur dans une position donnée et, circonstance aggravante, ils sont généralement plus forts avant le démarrage du manchon que pendant son déplacement, ce qui est doublement nuisible.

Les machines à déclic, dont les régulateurs ont peu de résistances passives à vaincre, sont les plus parfaites sous ce rapport.

On a essayé, dans ces derniers temps, des régulateurs dont les masses ont une composante d'inertie favorable à leur déplacement, lors des variations de vitesse de la machine.

IX. Lorsque plusieurs alternateurs sont couplés en parallèle, il se peut que les oscillations dont nous venons de nous occuper soient aggravées, ou facilitées tout au moins, par des phénomènes de synchronisme, mais nous ne pensons pas que la période d'*oscillations propres* des régulateurs puisse avoir une influence sous ce rapport, car, comme nous le disions plus haut, du moins pour les régulateurs que nous avons étudiés, cette période d'oscillations propres est généralement très courte par rapport à celle des oscillations de la vitesse, étant donnés les poids de volants habituels des machines de stations centrales.

X. Les machines monocylindriques règlent plus rapidement que celles qui travaillent à expansion multiple, puisque dans ces dernières le réservoir intermédiaire possède une quantité de vapeur à écouler, en cas de décharge brusque, et se trouve, au contraire, vide lorsque la résistance passe de zéro au maximum.

Cependant, étant données les vitesses de rotation actuellement adoptées, ce désavantage des machines polycylindriques est devenu moins important ; le temps que met le régulateur à passer d'une position à l'autre correspond, généralement, à un nombre de tours assez grand pour que le régime s'établisse dans le réservoir intermédiaire en même temps que l'admission se modifie.

Pour parer néanmoins à cet inconvénient, nous appliquons toujours

aux cylindres à basse pression une détente variable par le régulateur, de façon à comprendre la variation de la pression dans le réservoir intermédiaire, dans des limites déterminées. Les admissions respectives aux deux cylindres de nos compounds sont réglées d'après une loi qui tient compte, dans une certaine mesure, des diverses conditions à réaliser; celles-ci exigeraient, les unes que la pression intermédiaire soit fixe, les autres qu'elle varie avec la charge.

Au seul point de vue d'une utilisation complète et économique de la vapeur, la détente fixe est assurément la plus rationnelle.

Sous tous les autres rapports : régularité dans le tour (s'il s'agit de compounds à deux manivelles), régularité en cas de variation de charge brusque, limitation des efforts sur les articulations, compressions constantes et complètes aux extrémités de course, une pression constante au receiver est désirable.

La solution que nous avons adoptée est un moyen terme qui ménage, dans une certaine mesure, ces desiderata incompatibles.

Il faut remarquer d'ailleurs que, s'il est vrai qu'une légère variation de la détente au grand cylindre a pour effet de créer une boucle au diagramme du petit cylindre, pour la marche à vide, et une perte triangulaire assez accusée, lors des surcharges, l'économie n'est pas modifiée à charge normale, et ce dont elle peut être affectée dans des conditions exceptionnelles de marche est peu important, d'abord parce que ces conditions sont déjà défavorables par elles-mêmes, ensuite parce qu'elles sont momentanées.

Au demeurant, il faut entre deux maux choisir le moindre et chercher à concilier des avantages d'ordre et de nature aussi divers.

XII. En bridant tous les régulateurs, sauf un, on évite nécessairement leurs oscillations, mais ce moyen doit être considéré, semble-t-il, comme un pis-aller toujours dangereux et inacceptable lorsque les variations de débit sont très fortes et atteignent la capacité d'une unité.

XIII. En accouplant mécaniquement tous les régulateurs on arriverait à une solution théoriquement parfaite, mais pratiquement sa réalisation nous paraît bien difficile, car le couplage exigerait des artifices mécaniques assez compliqués.

NOTE DE M. PICOU.

Je n'ai que quelques mots à dire sur la question des moteurs couplés à des dynamos, principalement pour indiquer une disposition de détail qui m'a donné toute satisfaction pour faciliter le couplage.

Les électriciens demandent, en résumé, des moteurs tenant bien le couplage et faciles à coupler rapidement. Les conditions propres à donner un couplage stable paraissent bien dégagées aujourd'hui. Les régulateurs de vitesse doivent assurer par eux-mêmes, et sauf modification voulue pendant la marche, une chute de vitesse d'au moins 5 pour 100 entre le vide et la pleine charge; en outre, leur mouvement doit être amorti suffisamment, c'est-à-dire aux environs de la limite d'apériodicité.

La variation de fréquence due aux 5 pour 100 d'écart, *si elle est nuisible*, peut être corrigée par divers moyens, et notamment le déplacement du contrepoids du régulateur pendant la marche. Il ne semble pas que cette action doive être nécessairement automatique, pour la bonne marche.

Mais cette chute de vitesse est précisément ce qui rend souvent le couplage assez pénible. En effet, tel que le régulateur est construit, il n'y a qu'une vitesse compatible avec une charge donnée, et il doit être impossible d'amener en synchronisme une machine à vide avec une autre chargée.

On y parvient péniblement en laminant la vapeur, au moyen de la vanne principale, de manière à réduire considérablement la pression de vapeur dans la boîte à tiroir; agissant ainsi sur un facteur nouveau, le régulateur n'agissant généralement que sur la détente. Mais cette valve principale n'est aucunement établie de manière à permettre un réglage facile d'un très petit débit. De là les tâtonnements si pénibles que chacun a pu remarquer lors d'un couplage de machines.

J'ai paré à cette difficulté d'une manière simple et peu coûteuse, en établissant par-dessus la vanne principale un *by-pass*, ou, si l'on veut, un *shunt*, formé d'un tuyau de petit diamètre, muni d'un robinet à aiguille qui permet une limitation exacte du débit. Lors de la mise en phase, ce robinet est seul partiellement ouvert. Il produit une perte de charge suffisante, même sur le petit débit correspondant à la marche à vide, pour forcer le régulateur à ouvrir l'admission jusqu'à un point quelconque; et le réglage est extrêmement facile. Lorsque le synchronisme est atteint, on peut coupler, sans aucune crainte de troubler le régime en quoi que ce soit. La machine nouvelle, ne recevant que la vapeur juste suffisante à sa marche à vide, ne peut prendre aucune charge, et, d'autre part, les courants synchronisants ne peuvent non plus prendre une grande amplitude. On partage ensuite la charge comme d'habitude par la manœuvre graduelle des vannes de vapeur.

Cette disposition, à laquelle je suis arrivé après l'essai d'autres plus compliquées, telles que l'emploi de détendeurs individuels sur chaque moteur, etc., a été appliquée à plusieurs machines, notamment une machine Collmann, construite par MM. Biétreix, Leflaive et Nicolet; elle a reçu le meilleur accueil du personnel exploitant. J'ai cru qu'il pourrait être utile à nos collègues de la signaler ici.

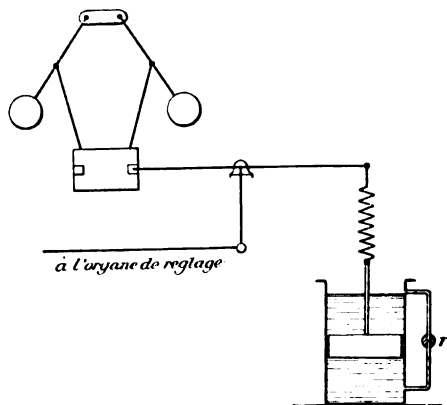
NOTE DE MM. VIGREUX ET L. BRILLIÉ.

Nous avons remarqué, dans l'un des derniers *Bulletins* de la Société internationale des Électriciens, un programme établi par M. Guilbert, relatif aux questions de régulation de vitesse des machines à vapeur commandant des alternateurs.

Nous pensons intéressant de vous signaler une disposition qui nous semble se rattacher à ces questions, principalement celle du n° XI.

Nous en avons parlé, il y a quelque temps, à M. H. Fontaine et M. A. Potier, qui nous ont engagés à vous la signaler; nous regrettons que

Fig. 1.



des questions de brevets à l'étranger nous aient empêchés de la publier plus tôt.

Cette disposition consisterait, comme il est indiqué schématiquement ci-contre, à employer une bielle élastique pour relier la balance du régulateur à un amortisseur.

En supposant que le régulateur soit isochrone, on voit que, pour des variations brusques de réglage, le régulateur agit instantanément comme un régulateur en équilibre stable, avec une approximation déterminée par l'élasticité du ressort, et que l'amortisseur, se déplaçant ensuite avec une vitesse réglable, par exemple, par un robinet *r*, rend progressivement au régulateur toute sa liberté pour parfaire le réglage.

Nous avons été conduits à cette disposition en mettant au point des groupes électrogènes actionnés par un moteur à explosions, marchant relativement à faible vitesse. Notre carburateur était commandé par un dispositif électrique relié aux bornes de la dynamo et destiné à maintenir le voltage constant à toute charge.

Il est évident qu'il y a dans ce cas un très grand retard de cause à effet entre la position du régulateur et l'établissement du régime (vitesse et voltage).

Après avoir essayé, sans succès, un amortisseur ordinaire plus ou moins dur, qui provoquait des pompages continuels et de grande amplitude (plus de 20 pour 100), nous avons trouvé le dispositif ci-dessus qui nous a fourni de suite la solution cherchée.

Il a été facile de trouver rapidement les valeurs à donner à l'élasticité du ressort et à l'amortisseur, pour arriver toujours à un réglage très rapide et parfait.

On voit d'ailleurs que, s'il tend à se produire des pompages, le ressort R tend à donner à la balance une avance dans ses mouvements, qui compense, en partie, le retard de cause à effet indiqué plus haut.

NOTE DE M. G. CHEVRIER.

La solution indiquée dans la question XII me paraît présenter de graves inconvénients; en voici les principaux :

- a.* Manque de généralité dans l'application;
- b.* Introduction d'éléments de trouble dans la marche en parallèle; complication des manœuvres de réglage;
- c.* Cause éventuelle d'accidents.

a. La machine régulatrice devra supporter seule les variations de charge sur le réseau; or celles-ci pourront, dans le cas le plus général, excéder sa puissance. Elle sera dès lors amenée à fonctionner, tantôt à vide, tantôt en surcharge, et, dans ce dernier cas, la sécurité de ses organes pourra se trouver compromise. Dans cet ordre d'idées, il est évident que les difficultés iront en croissant avec le nombre d'alternateurs au couplage; si l'on peut admettre que cette disposition soit applicable au cas, par exemple, de trois groupes électrogènes réglés de telle sorte que, les deux premiers fonctionnant en permanence à pleine charge, le troisième serve de volant, comment l'appliquera-t-on lorsqu'il s'agira d'une marche comportant 10 alternateurs, et soumise à des écarts de régime généralement bien supérieurs au $\frac{1}{10}$ de la puissance moyenne fournie au réseau? Ce dernier cas est loin d'être une exception dans la pratique; le premier, au contraire, ne saurait correspondre qu'à des conditions d'utilisation très spéciales.

b. Dans les conditions ordinaires de la marche en parallèle, la stabilité de l'ensemble est assurée contre les variations de charge extérieure par le fait de l'action simultanée et parallèle de tous les régulateurs. Si l'on suppose ces appareils identiques comme construction et comme réglage, une variation de régime n'apportera aucune modification dans les conditions de calage respectif des diverses unités, celles-ci subissant un déplacement angulaire uniforme en avant ou en arrière de leur calage initial. Dans la pratique, cette condition peut être réalisée d'une façon, sinon rigoureusement absolue, tout au moins très satisfaisante. Si, au contraire, on immobilise tous les régulateurs, moins un, il en résultera que, seul, le calage de l'unité régulatrice suivra les variations corrélatives de son état de charge, celui des autres unités restant invariable, puisque leurs conditions de puissance ne sont pas changées.

Cet état de choses aura, suivant les cas, pour effets :

1° De compromettre la stabilité du couplage : l'écart angulaire de l'alternateur considéré, par rapport au calage moyen de l'ensemble des autres, pouvant excéder la valeur de l'angle limite de stabilité, et amener ainsi la désynchronisation, surtout si la variation est brusque;

2° De réduire l'utilisation de l'unité régulatrice, en faisant de son induit le siège de courants de circulation intenses;

3° Et, si l'on veut chercher à corriger par des réglages convenables l'écart de phase, chaque fois qu'il se produira à la suite d'une variation de régime, de conduire à des manœuvres multiples et assez délicates pour être, le plus souvent, au-dessus de la compétence des électriciens commis au service du tableau.

Je ferai, en outre, observer que, la machine considérée centralisant le réglage total au lieu d'en opérer une fraction seulement, son régulateur sera soumis à des déplacements beaucoup plus considérables. Dans ces conditions, il n'est pas certain que le danger de pompage soit écarté, tout en restant localisé sur l'unité régulatrice.

c. Comme causes d'accidents, j'ai déjà signalé la possibilité, à un moment donné, d'une surcharge excessive sur la machine régulatrice, et la chance de désynchronisations fréquentes.

Je crains que la probabilité de ce dernier accident ne soit sensiblement plus grande avec le dispositif proposé que dans les conditions actuellement en usage.

J'ajouterai que l'opinion qui tend à faire peser, sur le principe même de la régulation unitaire, la responsabilité d'échecs survenus dans plusieurs occasions ne me paraît pas justifiée au point de condamner son emploi. Que les régulateurs aient effectivement, dans certains cas particuliers, apporté un élément de trouble dans la marche en parallèle, cela ne semble pas douteux. Mais, d'autre part, le témoignage des nombreuses installations existantes qui, comportant ces organes, n'en ont pas moins une marche irréprochable, suffit à démontrer que ce n'est pas le principe même qui est mauvais, mais bien les applications qui en ont été faites dans les cas précités, comportant très vraisemblablement, soit des machines motrices mal établies en vue de cette destination particulière, soit un système de régulation defectueux. Pour mon compte, je n'ai jamais rencontré de ce chef des difficultés sérieuses, au cours d'une exploitation comportant la marche en parallèle de 13 groupes électrogènes, se divisant en trois types entièrement différents, tant comme alternateurs que comme machines motrices. Il existe en effet, dans l'Usine centrale du secteur de la Rive gauche, des machines à tiroirs cylindriques, des machines à soupapes, et une machine Corliss, mettant en œuvre des modes de régulation fort différents. Malgré cette dernière condition évidemment désavantageuse, la marche simultanée de ces unités en parallèle ne nous a jamais donné aucun déboire.

Quant à la solution qui consisterait à faire agir sur les distributions des machines un seul régulateur, elle ne présente pas les désavantages précédents et peut être fort intéressante en principe. Resterait à envisager la possibilité de sa réalisation pratique.



SITUATION FINANCIÈRE.

COMPTES DE L'EXERCICE 1904.

I. — Services généraux.		CRÉDIT.	DÉBIT.		
Cotisations libérées et dons.....	fr	1375,00	Bulletin.....	fr	18055,51
Cotisations de l'exercice.	21260,00		Frais d'administration.....	2011,40	
Intérêts.....	1696,09		Personnel.....	6210,00	
Produits du Bulletin.....	7637,25		Frais de réunions.....	959,30	
Dons d'Ouvrages divers..	410,00		Frais de correspondance....	941,95	
Profits et pertes.....	447,19		Subvention au Laboratoire...	3000,00	
Intérêts du legs Hughes.	1500,00		Cotisations irrécouvrables....	280,00	
Dons et intérêts.....	38963,05	fr	Entretien de la bibliothèque.	825,15	
		73288,58	Placement au fonds social....	1903,80	
			Prélèvements sur les dons :	fr	
			Laboratoire.....	17795,25	
			Ecole.....	7129,30	
			Voyage en Amérique.....	3000,00	
			Amortissement :		
			Bibliothèque.....	27924,55	
			Solde créditeur.....	fr	410,00
					10766,32
					73288,58

II. — Laboratoire.

Subvention de la Société.	fr 20795,25	Frais d'opérations et essais :	
Arrrages de la rente....	7903,00	Machine à vapeur et moteur à gaz..... fr 5823,20	
Redevances pour essais et étalonnements.....	31458,85	Produits..... 1351,10	
Redevances des élèves et tiers.....	2739,25	Atelier..... 263,45	
Intérêts des fonds placés.	250,00	Déplacement du personnel.	fr 1367,10
Profits et pertes.....	542,45	Personnel.....	8806,85
Dons en nature.....	300,00	Frais d'administration :	24013,15
Prélèvements sur fonds		Frais de bureau, correspon-	
		dance et divers.....	1621,80

429,92	429,92
631,45	631,45
720,75	720,75
2608,55	2608,55
3837,40	3837,40
3000,00	3000,00
16905,50	16905,50
7711,95	7711,95
5000,00	5000,00
300,00	300,00
	^{fr} 78869,30

III. — École.

^{fr} 87765,00	Personnel	^{fr} 40278,65
16500,00	Travaux des élèves :	
	Machine à vapeur et moteur	
2000,00	à gaz.....	^{fr} 3704,85
408,64	Produits.....	3481,75
7129,30	Atelier.....	3167,65
115,24	Frais de conférences, vi-	
630,00	sites d'usines, etc.....	3721,20
200,00	Frais d'administration :	
40,45	Frais de bureau, correspon-	
	dance et divers.....	2797,20
	Chauffage.....	2926,20
	Entretien des bâtiments.....	5723,40
	Entretien des machines et ap-	958,55
	pareils.....	1884,40
	Impôts, assurances.....	682,30
	Intérêts de l'emprunt.....	1305,00
	Amortissement de l'emprunt.	9000,00
	Acquisition d'instruments et	
	matériel.....	29006,65
	Constructions.....	17129,30
	Amortissement :	
	Instruments et matériel....	^{fr} 630,00
		<u>120673,70</u>
		<u>272831,58</u>

^{fr} 87765,00	Redevances des élèves....	^{fr} 5885,07
16500,00	Souscriptions.....	120673,70
	Subvention de la Ville de	<u>272831,58</u>
2000,00	Paris	
408,64	Intérêts des fonds placés.	
7129,30	Subvention de la Société.	
115,24	Dons de divers.....	
630,00	Dons en nature.....	
200,00	Abandon d'obligations...	
40,45	Profits et pertes	
	Prélèvements sur fonds	
	disponibles.....	

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1901.

ACTIF.

PASSIF.

I. — Société.

Fonds social (valeur au 31 décembre 1901) :				
50 obl. P.-L.-M. fusion.....	fr		Solde des frais de publication du Bulletin.....	fr
13 obl. Est 3 %.....	22950,00		Cotisations anticipées....	3427,88
4 obl. Ouest algér. 3 %.....	5941,00		Intérêts du legs Hughes.	122,68
152 ^{fr} de rente 3 %.....	1780,00		Solde des dons avec affectations spéciales.....	1875,00
Espèces.....	5076,80			
	11,54	35759,34		11038,50
Fonds disponibles (valeur au 31 décembre 1901) :				16464,06
635 ^{fr} de rente 3 %.....		21209,00		
Legs Hughes (valeur au 31 décembre 1901) :				
1500 ^{fr} de rente 3 %.....		50100,00		
Caisse et banquier.....		5869,60		
Cotisations à toucher.....		4556,00		
Bibliothèque.....		10828,00		
Mobilier.....		1000,00		
Compte d'ordre.....		1036,56		
		130358,50		

II. — Laboratoire.

Constructions.....	fr		Ministère du Commerce..	fr
Bibliothèque.....	260699,83		Créditeurs divers.....	60000,00
Instruments et matériel.....	2975,40			11388,00
Caisse.....	145162,44			71388,00
Débiteurs divers.....	1007,49			
	13163,85	423009,01		

III. — École.

Instruments et matériel.....	fr		Emprunt.....	fr
Constructions.....	94602,00		Amortissement de l'emprunt.....	34500,00
Caisse.....	60690,70			10100,00
	1137,42			

BIBLIOGRAPHIE.

Notice sur les travaux de Albert Hess, publiée par ses amis. Préface de M. ANDRÉ BLONDEL.

Cette brochure est un hommage rendu à la mémoire de celui qui promettait de devenir l'un de nos techniciens les plus réputés.

On y a réuni les principaux articles et études du jeune savant, mort si prématurément.

Parmi les principaux écrits mentionnés, résumés ou intégralement reproduits dans cette notice, nous citerons ceux sur les rhéostats industriels; la mesure des différences de phase des courants sinusoïdaux; l'application des rayons cathodiques à l'étude des champs magnétiques variables; etc.

Une étude remarquable sur les isolants mérite de retenir l'attention, précisément au moment où une discussion se trouve engagée à la *Société internationale des Électriciens* sur la spécification des câbles.

Citons encore un important travail sur les dispositions à adopter dans les grands bureaux centraux téléphoniques, et, dans un ordre tout différent, les études faites, en collaboration avec M. Claude, relativement à l'emmagasinement et à la distribution de l'acétylène dissous dans l'acétone.

Un portrait du regretté Hess et une notice biographique, écrite par M. Claude, complètent cette intéressante Notice.

Electrical catechism. Introduction à l'étude de l'Électricité et de ses applications, par M. G. SHEPARDSON, professeur d'Électrotechnie à l'Université de Minnesota. *American Electrician Journal*, éditeur, New-York.

Cet Ouvrage élémentaire est destiné à servir de cours préparatoire aux élèves des écoles professionnelles électriques.

Il suffira d'en énumérer les douze Chapitres : Électrostatique. — Unités électriques. — Loi d'Ohm. — Électricité et chaleur. — Piles et accumulateurs. — Magnétisme. — Instruments de mesure. — Mesures électriques. — Études des moteurs, des dynamos, des alternateurs et des transformateurs.

L'Auteur s'est mis à la portée de tous et a choisi de nombreux exemples qui suivent les démonstrations et permettent à l'élève de se familiariser avec les phénomènes qu'il étudie.

Production et distribution de l'énergie pour la traction électrique, par H. MARTIN, Ingénieur des Arts et Manufactures. 1 fort vol. grand in-8 de 750 pages, orné de 869 figures dans le texte. Ch. Béranger, éditeur; Paris, 1902.

Cet important Volume est divisé en six Parties, comprenant respectivement une introduction, onze, deux, seize et onze Chapitres, la sixième Partie étant réservée à l'exposé des divers règlements administratifs.

L'Auteur indique, tout d'abord, comment on détermine la puissance d'une station centrale pour traction électrique. Après quelques considérations sur le choix et l'importance des unités motrices, il étudie ensuite successivement les chaudières, les machines à vapeur, à gaz pauvre, hydrauliques, et leurs accessoires. Il entre pour chaque cas dans des détails très circonstanciés et fournit de nombreux renseignements pratiques.

Après l'étude de la force motrice vient celle de la production de l'énergie électrique au moyen des dynamos à courant continu et des alternateurs.

M. Martin traite alors très complètement de l'emploi des accumulateurs et de l'aménagement des sous-stations de transformation; il donne des chiffres relatifs aux dépenses d'établissement des stations centrales.

La seconde Partie est consacrée aux canalisations reliant les machines aux conducteurs aériens de distribution, ceux-ci étant examinés dans la troisième Partie.

La quatrième est réservée aux systèmes de distribution par troisième rail, par plots et par caniveaux.

Toutes les dispositions connues ou préconisées sont examinées tour à tour, aux points de vue descriptifs, fonctionnement, sécurité, dépenses d'installation, etc.

Les procédés employés pour assurer le meilleur chemin au retour du courant sont enfin étudiés dans la cinquième Partie. Nous ne dirons rien de ce qui est relatif aux règlements administratifs.

L'Ouvrage de M. Martin occupe une place à côté du remarquable traité de MM. Blondel et Dubois, l'un étant, pour ainsi dire, une continuation de l'autre. Les sujets abordés sont différents et il faut savoir gré à l'Auteur de la manière dont il a su les présenter.

La houille blanche et son utilisation par le réseau général des forces naturelles hydro-électriques, par L. MÄHL, Ingénieur; brochure in-8 avec figures; V^o Ch. Dunod, éditeur.

Dans cette brochure, l'Auteur examine sommairement les conditions dans lesquelles l'ensemble des puissances hydrauliques naturelles de notre pays pourrait être organisé en quelque sorte par l'État ou sous sa protection, en vue d'être utilisé pour la distribution électrique de l'énergie.

Il expose un système de législation générale et envisage les grandes lignes de premier établissement du réseau complet.



ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ.

PROMOTION VII. — 1900-1901.

Liste des élèves ayant obtenu le diplôme de fin d'études.

MM. CHEVALIER, }
ROUYER, } Officiers désignés par le Ministère de la Guerre.
ANGLADE, }

MM.	MM.	MM.
1. WEBER.	21. ILIOVICI.	41. ESPAINOL.
2. BATTEGAY.	22. PETIT (M.).	42. DE CORTA.
3. FLEURY.	23. MILLE.	43. CROVISIER.
4. PETIT (HENRI).	24. GRATACAP.	44. DEBRUNNER.
5. VINCENT.	25. MOREL.	45. LAGARDE.
6. SALOMON.	26. BERGEON.	46. CROISSET.
7. MAUBAN.	27. RISSER.	47. BRULL.
8. BICKART.	28. LE SOUFACHÉ.	48. SCHMITT.
9. GRANDJEAN.	29. PORTÉ.	49. OHDATCHI.
10. GASQUET.	30. MOSSÉ.	50. MAREC.
11. MATHIEU.	31. PISKIEWICZ.	51. LUCAS DE PESLOUAN.
12. COURBIER.	32. COTTAVOZ.	52. BELET.
13. PROESCHEL.	33. SELLIER.	53. VULCANESCO.
14. PERCEPIED.	34. ROBERJOT (P.).	54. PONCET.
15. NEU.	35. MERCIER.	55. TÉRÉKOFF.
16. JULLIN.	36. BERWEILLER.	56. SUDRIA.
17. BLACHÉ.	37. GIRARD DE VASSON.	57. AUFRÈRE.
18. OLIVIER.	38. DINOIRE.	58. ZURCHER.
19. CHARLES.	39. TERRIET.	59. CHAMPY.
20. RENARD.	40. LESCURE.	60. BERNSTEIN.

Promotion 1899-1900.

MM. ROBERJOT (HENRI).
GUILLON.
KAHN.

Promotion 1898-1899.

M. GOLDENBERG.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Éloge funèbre de M. A. Cornu (M. le **Président**), p. 336.

L'éclairage électrique des trains : Première Partie (M. **Ch. Jacquin**), p. 338. — Télétachymètre électrique (M. **Ed. Hospitalier**), p. 377. — Représentation matérielle des fonctions à trois variables par des graphiques à trois dimensions (M. **Ed. Hospitalier**), p. 380. — Alternateurs à collecteur (M. **Marius Latour**), p. 383; (M. **Heyland**), p. 400.

PÉRIODIQUES ÉTRANGERS, p. 402.

BIBLIOGRAPHIE, p. 405.

OUVRAGES OFFERTS, p. 409.

INFORMATIONS : Prix Henri Schneider, p. 411.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 7 mai 1902 ⁽¹⁾

PRÉSIDENCE DE M. E. HARLÉ.

La séance est ouverte à 8^h 35^m du soir.

Est adopté le procès-verbal de l'Assemblée générale annuelle et de la réunion mensuelle tenues le 9 avril 1902.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts (p. 409) et des demandes d'admission suivantes :

MM.

- Anglade** (Jean-Joseph-Ambert), Capitaine d'Artillerie, à la Manufacture d'Armes de Saint-Étienne, à Saint-Étienne (Loire). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Bardoux** (Joseph-Éloi-Isidore), Lieutenant au 12^e régiment d'Artillerie, 6, rue d'Estreées, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Delort** (Émile), ancien Élève de l'École Polytechnique, Attaché à la Maison Marchand et Dreyfus (Dépôt du Creusot), 100, quai de la Rapée, à Paris. — Présenté par MM. Brunswick et Jouvenel.
- Dreux** (Alexandre-François), Administrateur-Directeur de la *Société des Aciéries de Longwy*, au Mont-Saint-Martin (Meurthe-et-Moselle). — Présenté par MM. Brunswick et Jouvenel.
- Dumont** (Eugène), D^r ès Sciences, Ingénieur fondé de pouvoirs de la *Société française des Câbles électriques* (Système Berthoud, Borel et C^{ie}), 11, chemin du Pré-Gaudry, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Lævenbruck et Poussin.
- Feray** (Jacques), Ingénieur des Arts et Manufactures, Secrétaire de la *Société grenobloise de Force et Lumière*, 8, avenue de la Gare, à Grenoble (Isère). — Présenté par MM. Lorin et Grosselin.
- Grosdidier** (Henri), Ingénieur des Arts et Manufactures, 5, square du Croisic, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Hefty** (André-Frédéric), Capitaine d'Artillerie, 12, rue Saulpic, à Vincennes (Seine). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Heyland** (Alexandre), Ingénieur, 32, rue du Marteau, à Bruxelles (Belgique). — Présenté par MM. Korda et Pirani.
- Langlois** (Jean), 26, avenue Thiers, à Grenoble (Isère). — Présenté par MM. Janet et Blanchet.
- Le Las** (Maurice), Ingénieur à la *Société industrielle des Téléphones*, 77, rue du Rocher, à Paris. — Présenté par MM. Meyer-May et G. Courtois.
- Racapé** (Anselme-Louis), Ingénieur-Électricien, Chef des Services d'Installations électriques, Société anonyme d'Électricité et d'Automobiles *Mors*, 36, rue du Bac, à Paris. — Présenté par MM. Violle et Raymond.
- Rouyer** (Albert), Capitaine de Frégate, Commandant le croiseur *Cassard*, Villa des Roses, à Tamaris-sur-Mer (Var). — Présenté par MM. Gamard et Sabourain.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT. — « Mes chers Collègues, depuis notre dernière réunion la Société a fait une perte qui vous sera à tous particulièrement sensible, celle d'un de ses Membres les plus anciens en même temps que des plus jeunes d'esprit et de cœur, d'un de ses Membres les plus savants en même temps que des plus affables, d'un de ses

Membres les plus respectés; aussi accueillant pour les nouveaux venus parmi nous que fidèle dans ses anciennes amitiés.

» Alfred Cornu était né en 1841, entré à l'École Polytechnique en 1860, Ingénieur au Corps des Mines en 1864, Professeur de Physique à l'École Polytechnique en 1867, Membre de l'Académie des Sciences en 1878.

» Je renonce à vous énumérer tous ses autres titres, tellement ils sont nombreux; peu d'hommes ont su réunir, en un semblable faisceau, autant de témoignages de leur valeur scientifique et d'universelle estime.

» La mort d'Alfred Cornu nous a surpris au moment où nous venions de le nommer, une fois encore, Membre de notre Comité d'Administration, et où nous comptions plus que jamais sur le concours de ses lumières.

» Vous avez tous présents à la mémoire son intervention dans nos réunions de l'hiver dernier, l'intérêt qu'il portait à nos discussions et la part importante qu'il prenait à nos travaux. Aucun de nous n'aurait pu penser que nous serions privés si tôt de sa précieuse collaboration.

» Il est mort le 12 avril, après une courte maladie, après une vie consacrée tout entière à la Science pure et à l'Enseignement.

» C'est une grande perte pour notre Société. C'est une grande perte pour l'École Polytechnique, pour l'Institut, pour toutes les Sociétés savantes dont il faisait partie. C'est une grande perte pour la Science.

» A tous les témoignages de douloureuse sympathie qui sont adressés à sa famille nous joindrons le nôtre du plus profond de notre cœur. »

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES TRAINS.

(PREMIÈRE PARTIE.)

M. JACQUIN (Charles). — « L'éclairage électrique des trains peut être réalisé sous deux formes distinctes, vieilles toutes deux de 20 ans passés : éclairage obtenu sans le secours de dynamos sur les trains, éclairage comportant l'emploi de dynamos sur les trains. Ces deux catégories de systèmes peuvent elles-mêmes être subdivisées en deux classes suivant que la source d'électricité est placée sur un ou deux véhicules seulement, ou que chaque véhicule du train est alimenté d'une façon indépendante.

A. — Éclairage des trains par accumulateurs seuls.

I. ÉCLAIRAGE D'UN TRAIN ENTIER PAR UNE OU DEUX BATTERIES SEULEMENT.

» Ce procédé est employé depuis 1892 ou 1893 sur les Chemins de fer de l'État danois et a pris un assez grand développement. D'après des publications faites récemment sur ce système en Allemagne, il y aurait 700 voitures éclairées de cette manière. Chaque compartiment contient 2 lampes de 5 à 8 bougies, suivant la classe, branchées sur deux circuits distincts alimentés par 2 batteries placées dans les fourgons; il y a donc deux canalisations principales régnant le long du train et comportant entre les voitures deux accouplements ayant, paraît-il, la forme extérieure des raccords du frein Westinghouse. En cas de coupure du train ou de mauvais contact dans une des canalisations, il reste toujours une lampe allumée dans les compartiments. Chaque batterie pèse 800^{kg} et se compose de 36 éléments de 130 ampères-heure, à matière rapportée du système Hagen, répartis en 9 boîtes de 4 éléments disposées en trois étages dans un coin du fourgon, avec des connexions automatiques, consistant en lames de cuivre fixées sur les côtés de la boîte et venant s'appuyer sur des lames à ressort montées dans l'intérieur des casiers. Les lampes fonctionnent à la tension de

66 volts environ. L'énergie emmagasinée ainsi dans le train n'est pas très grande, mais sur les Chemins de fer danois, les trains ne sont pas très longs et n'ont pas de grands trajets de nuit, de sorte que les batteries suffisent, en général, pour assurer une quinzaine d'heures d'éclairage; la recharge se fait sur le train même en 4 heures et demie, ce qui ne présente pas de difficulté parce que les trains ont de longs garages.

» Le même système est employé sur les petits chemins de fer particuliers suédois et, d'après le Rapport de MM. Chaperon et Hérard au Congrès des Chemins de fer de 1900, sur les Chemins de fer de la Sicile occidentale et sur une partie des trains des Chemins de fer de l'État du Cap, mais les renseignements font défaut sur l'importance de ces applications.

» Les dépenses totales d'établissement et d'entretien sont sensiblement plus faibles avec ce procédé qu'avec le système par batteries isolées sur chaque véhicule, car 2 batteries assez fortes coûtent moins cher et sont plus faciles à surveiller qu'une série de petites. L'éclairage des trains par des batteries placées dans le fourgon, convient bien pour les petits réseaux où il est appliqué, dont les trains n'ont pas de très grands parcours de nuit, ont des périodes de repos assez longues et ne changent pas souvent de composition; mais, sur les grands réseaux, où les trains contiennent beaucoup de véhicules, ont peu de stationnement ou bien comportent des intercalations fréquentes de voitures de types variés, cette méthode n'est pas à recommander et n'a d'ailleurs pas reçu d'applications parce qu'elle entraîne les sujétions d'une canalisation générale et d'une immobilisation de charge, tout en conservant de fortes dépenses d'accumulateurs.

II. ÉCLAIRAGE DES VOITURES PAR BATTERIES INDÉPENDANTES.

» Je ne citerai que pour mémoire les essais d'éclairage électrique des voitures à l'aide de batteries indépendantes de piles primaires exécutés, et vite abandonnés, en 1884, dans diverses Compagnies anglaises (piles Holmes), en 1887, sur les Wagons-Lits (piles Desruelles), et en 1890, à l'Est français (piles Méritens). Les piles primaires produisent un courant beaucoup trop onéreux et inconstant

et exigent des manipulations de liquide beaucoup trop désagréables pour qu'on puisse les appliquer pratiquement à l'éclairage des voitures de Chemins de fer.

» Les accumulateurs, au contraire, donnent un courant sensiblement constant pendant toute la durée de leur décharge, et l'on n'a presque jamais à toucher à leur liquide. Rendre les voitures complètement indépendantes en les munissant chacune d'une petite batterie d'accumulateurs paraît à première vue une solution très simple et très séduisante. Aussi, voyons-nous ce procédé expérimenté dès que les accumulateurs entrent dans la période de fabrication industrielle. Les premiers essais remontent en effet à 1880 et furent exécutés, sans succès, au London-Brighton Railway. Ainsi que vous l'a fait connaître notre regretté Collègue Sarcia, dans une Communication de décembre 1889, des essais d'éclairage par accumulateurs furent entrepris en 1883 à la Compagnie d'Orléans, et, de 1885 à 1887, dans diverses Compagnies américaines, et aucun de ces essais ne fut suivi d'application, car les accumulateurs se détérioraient alors beaucoup trop rapidement. Il faut arriver à 1889 pour voir l'éclairage électrique par accumulateurs appliqué sur un petit nombre de véhicules, mais d'une façon définitive, à la Compagnie française du Nord et à la Compagnie suisse du Jura-Simplon.

» Je vais passer en revue les applications réalisées en Europe, en les divisant en deux groupes, suivant que les accumulateurs sont chargés dans une usine spéciale, ou dans les trains mêmes. On manque de renseignements sur les applications réalisées en Amérique; on sait toutefois qu'il n'y a, dans cette contrée, qu'un nombre infime de voitures éclairées par accumulateurs.

a. INSTALLATIONS OÙ LA CHARGE EST EFFECTUÉE DANS UNE USINE.

» *Chemin de fer suisse du Jura-Simplon.* — C'est dans cette Compagnie que l'éclairage électrique par accumulateurs a pris le développement le plus rapide et le plus complet. Trois ans après le début des essais, qui commencèrent en décembre 1888 sur une voiture, la Compagnie avait déjà équipé une centaine de voitures, et, dès 1894, *tout son matériel* de voitures et fourgons était éclairé à l'électricité. C'est la seule Compagnie de Chemins de fer qui ait fait une application *générale* de l'électricité pour l'éclairage de ses trains. Elle

possède actuellement 668 véhicules, voitures ou fourgons, éclairés à l'électricité, sur un effectif total d'environ 700 véhicules.

» Les voitures suisses sont divisées en 2 ou 3 grands compartiments traversés par un passage central; la répartition des lampes y est différente de celle employée dans les voitures des autres pays; elles sont montées sur des réflecteurs émaillés fixés au plafond et protégées par une coupe en verre. Des bougeoirs sont conservés dans un placard comme éclairage de secours. Le conducteur seul peut éteindre les lampes des compartiments. Sauf dans les compartiments de première classe, qui sont très petits, on ne fournit qu'un éclairage modéré, de manière à ne pas consommer trop de courant. Il n'y a qu'un type uniforme de batterie pour tous les véhicules: c'est une boîte unique munie de 3 poignées, qui pèse 120^{kg} à 130^{kg} et qui peut être manœuvrée par 3 hommes; elle est placée dans un coffre qui est sous le châssis. La boîte d'accumulateurs se trouve réunie automatiquement à la canalisation des lampes, par le seul fait de son introduction dans le coffre, par des bandes de laiton fixées sous la boîte et qui viennent reposer sur des bandes semblables montées dans le coffre. Ce mode de connexions automatiques exige un nettoyage fréquent des lames de contact, si l'on veut éviter les mauvais contacts ou les courts-circuits.

» Chaque boîte contient 9 éléments en tension de 125 ampères-heure de capacité; elle est comptée comme pouvant fournir normalement 650 bougies-heure. La tension de 17 volts rend la construction et l'étalonnage des lampes assez délicat. Les véhicules reçoivent 2 batteries lorsque l'intensité lumineuse totale qu'ils absorbent est supérieure à 58 bougies; cette intensité lumineuse totale varie de 30 à 78 bougies, suivant le type de véhicule. Elle est inscrite sur le coffre à accumulateurs de chaque voiture, qui porte également l'indication du nombre d'heures correspondantes que la batterie peut fournir et qui varie, suivant le cas, entre 11 et 21 heures. A côté de chaque coffre à accumulateurs se trouve un compteur horaire Aubert gradué de 0 à 30, qui est intercalé dans le circuit des lampes. Pendant le stationnement dans les gares principales du réseau, au nombre de 12, où se trouvent des dépôts d'accumulateurs, les visiteurs regardent au compteur le nombre d'heures d'éclairage fournies par les batteries. Ils calculent, d'après cette lecture et d'après le

nombre d'heures maximum marqué sur le coffre, si la durée d'éclairage qui reste disponible est suffisante, étant donné l'horaire du train, pour atteindre, d'une façon certaine, le poste de dépôt suivant. Au cas contraire, ils remplacent la batterie épuisée par une batterie fraîchement chargée prise dans leur poste.

» L'échange des batteries se fait en grande partie à Bienne et à Fribourg, où s'arrêtent un grand nombre de trains, et où ont été installées les 2 usines de charge placées dans les dépendances des 2 grands ateliers de réparation de la Compagnie; les batteries échangées dans les autres postes de dépôts d'accumulateurs sont amenées dans ces 2 gares, soit dans des fourgons ordinaires, soit dans des fourgons spéciaux. Les batteries échangées ou amenées par fourgons ordinaires à la gare de Bienne sont placées sur de petits chariots munis de contacts semblables à ceux des voitures, qui sont poussés à bras sur une voie étroite de 600^m de longueur jusqu'à l'usine de charge; les accumulateurs sont chargés sur les chariots mêmes; la charge dure environ 9 heures. L'usine de Fribourg étant peu éloignée de la gare, les accumulateurs y sont transportés sur de simples chariots à bagages, puis enlevés et posés à l'aide de palans mobiles sur des bancs de charge. A l'usine de Bienne et surtout à l'usine de Fribourg arrivent, de 2 ou 3 garés très importantes, des fourgons spéciaux pouvant contenir 40 ou 60 batteries, qui viennent se ranger près de la salle de charge, et sur lesquels les accumulateurs sont chargés sans transbordement. Ces fourgons, au nombre de 12, contiennent, à cet effet, des étagères munies de contacts et de prises de courant convenables. Grâce à cette organisation judicieuse, les manutentions de boîtes sont réduites au minimum.

» Le transport des accumulateurs dans les divers postes de dépôt cause une immobilisation assez grande des batteries, ce qui oblige à en avoir un effectif élevé. C'est ainsi que la Compagnie en possède 1150 pour un total de 668 voitures, dont un certain nombre sont en réserve ou circulent entièrement de jour.

» Toutes ces batteries, sauf 10 du type Planté, fournies par OErlikon, sont du type à oxyde rapporté, ce qui est presque nécessaire pour obtenir la capacité voulue sans atteindre un poids excessif; 840 sont du type Huber et fabriquées par l'usine de Marly, près Fribourg, et 300 ont été fournies par la fabrique d'OErlikon. Dans les

deux cas, les plaques positives et négatives sont semblables et constituées par un grillage à pastilles de $0^{\text{cm}^2}, 5$; les pastilles de Marly sont carrées et percées d'un trou, celles d'Oerlikon sont pleines et triangulaires. Les plaques sont séparées par des feuilles en ébonite perforées et disposées dans des bacs en ébonite fermés par un couvercle étanche collé au chatterton. La réparation des accumulateurs, qui était d'abord effectuée à forfait par l'usine de Marly, est maintenant faite par la Compagnie elle-même dans un petit atelier joint à l'usine de charge de Bienne. Les usines de charge de Fribourg et de Bienne reçoivent toutes deux, d'une usine centrale étrangère, du courant d'assez haute tension qu'elles sont obligées de transformer; à Fribourg, c'est du courant continu à 600 volts; à Bienne, du courant triphasé à 1800 volts. Le courant qui est produit dans les deux cas dans des usines hydrauliques est vendu au chemin de fer $0^{\text{fr}}, 05$ le cheval-heure livré par la station génératrice; même en tenant compte du rendement des sous-stations, l'énergie dépensée pour la charge revient très bon marché. D'autre part, toute l'installation est établie et exploitée le plus économiquement possible, de sorte qu'on peut arriver à un prix de revient de l'éclairage assez réduit.

» Mais il ne faut pas se baser sur l'application réalisée au Jura-Simplon pour en conclure qu'un grand réseau a intérêt à adopter l'éclairage par accumulateurs sur tout son matériel. Sur un réseau étendu, on ne retrouve pas les conditions favorables que l'on rencontre au Jura-Simplon (en Suisse, aucun train, en dehors de quelques express internationaux, ne circule après minuit), les voyages sont plus longs et l'on a besoin de donner un éclairage abondant; il faut donc avoir des batteries plus puissantes. Les arrêts étant beaucoup plus courts qu'en Suisse, il faut employer des boîtes plus maniables; il faut donc diviser la batterie en plusieurs boîtes, ce qui augmente la dépense. Enfin, les précautions nécessaires pour opérer le changement des batteries et leur cheminement vers les usines de charge, qui peuvent étre prises lorsqu'il s'agit d'un petit nombre de lignes peu distantes des usines, seraient pratiquement impossibles à appliquer sur toutes les lignes d'un réseau très étendu, comportant des distances très grandes et des directions très diverses.

» *Autres chemins de fer suisses.* — Les autres réseaux suisses, qui

sont beaucoup moins importants que celui du Jura-Simplon, emploient, en général, l'éclairage au gaz d'huile. Il y a pourtant 139 voitures éclairées à l'électricité au Central suisse, avec une station de charge à Olten, 20 au Gothard avec une station de charge à Chiasso et 65 voitures dans les réseaux de Berne à Neuchâtel et du Jura-Neuchâtelois avec une usine de charge à Yverdon. Dans toutes ces Compagnies, on emploie des boîtes d'accumulateurs possédant les mêmes contacts automatiques que ceux du Jura-Simplon.

» *Bureaux-postes allemands.* — Presque tous les bureaux-postes ambulants de l'Allemagne du Nord sont éclairés par accumulateurs depuis 7 ou 8 ans. Les 1500 wagons aménagés comprennent en général 6 lampes fixes de 12 bougies et une lampe portative, toutes munies d'un interrupteur, et contiennent une batterie d'accumulateurs Böse de 16 éléments; les grands bureaux-postes qui servent au service international portent 2 batteries et contiennent 12 lampes.

» Les batteries se composent de 4 boîtes de 4 éléments de 120 ampères-heure, logées sous une table dans l'intérieur du wagon et réunies entre elles par des fils serrés sous des écrous. Les accumulateurs Böse sont constitués avec des plaques ne comportant qu'une ou deux grandes pastilles; chaque boîte pèse 46^{kg} seulement. Les petits bureaux renferment 184^{kg} d'accumulateurs et les grands 368^{kg}. Les bacs sont en celluloïd, ce qui permet d'examiner les éléments sans les démonter, mais cette matière est facilement inflammable. (Il n'y a guère qu'à la Société Böse qu'elle ait été conservée; elle a été remplacée presque partout par l'ébonite.)

» Les boîtes sont portées dans les stations de charge, au nombre d'une dizaine, installées dans les gares importantes. Les boîtes étant légères, leur manutention est facile, mais leur accouplement est assez long à exécuter. Comme elles sont peu encombrantes, on peut en placer jusqu'à quatre étages superposées; les salles de charge ont ainsi des dimensions réduites et ont pu être installées dans l'intérieur même des gares; il est vrai que quelquefois il a fallu les mettre en sous-sol. Dans ces stations de charge, le courant est pris sur l'éclairage de la gare ou produit par moteur à gaz. Le service des Postes allemandes emploie environ 2000 batteries Böse.

» Cette administration emploie également environ 500 petites batteries transportables, composées d'une boîte de 20^{kg}, munie d'une poignée renfermant 8 éléments de 25 ampères-heure et sur laquelle on peut brancher une lampe amovible à réflecteur de 7 bougies servant à l'éclairage des bureaux auxiliaires accouplés aux wagons-postes pour le transport des colis-postaux (Beiwagen).

» L'entretien des accumulateurs est effectué à forfait par la Société Böse, à raison de 20 pour 100 du prix d'achat. L'administration des Postes allemandes est très satisfaite de cette organisation, parce qu'elle se trouve ainsi indépendante des Compagnies de chemins de fer, qui lui vendaient le gaz d'huile très cher, et qu'elle obtient dans ses bureaux ambulants un éclairage brillant et très hygiénique.

» L'administration des Postes bavaroises a 40 bureaux ambulants, et celle des Postes saxonnes 80 bureaux ambulants éclairés de la même manière, par accumulateurs Böse. Les Postes autrichiennes ont également 45 bureaux-postes éclairés par accumulateurs Böse, rechargés à la gare du Nord de Vienne, en même temps que ceux des voitures du chemin de fer du Nord Kaiser-Ferdinand.

» *Bureaux-postes français.* — L'administration des Postes françaises a mis en service, depuis un an, une trentaine de nouveaux bureaux ambulants très spacieux, de 14^m et même 18^m de long, et dont le séjour est rendu très confortable pour les employés par l'usage de l'éclairage électrique dont ils ont tous été munis. Ces wagons-postes sont installés à peu près de la même manière que les wagons allemands, à l'aide d'accumulateurs des types Dinin (la maison Dinin construit en France les accumulateurs du type Böse), de la Société des Métaux, Fulmen, Oméga, Champagne qui, sauf sur la ligne du Nord, sont transportés et rechargés dans des usines situées dans les différentes gares de Paris ou de Bordeaux. Chaque véhicule contient 2 batteries de 32 éléments de 180 ampères-heure, pesant 720^{kg} à 820^{kg} et porte 24 lampes de 10 bougies. Les lampes sont un peu poussées, de sorte que les accumulateurs peuvent fournir 25 heures d'éclairage.

» L'administration compte étendre progressivement l'éclairage électrique à tous les petits bureaux ambulants de 6^m,80, dont 6 sont déjà éclairés (10 lampes de 6 bougies) sur la ligne de l'Est, à

l'aide de batteries Dinin simples, identiques à celles des bureaux-postes allemands.

» *Est français.* — A la suite d'essais effectués en 1898 et 1899 sur 4 voitures, la Compagnie de l'Est a installé, en 1900, l'éclairage électrique sur toutes ses voitures à intercirculation, au nombre de 164; 154 de ces voitures sont éclairées par accumulateurs seuls. Les compartiments, à 6 ou 8 places, sont munis chacun de 2 lampes de 6 bougies disposées de part et d'autre de la lanterne à huile, conservée comme éclairage de secours, dans deux fausses lanternes fixées au plafond et fermées par une coupe en cristal taillé et dépoli s'ouvrant de l'intérieur; la lanterne renferme un réflecteur en plaqué d'argent, et la lampe à incandescence est placée horizontalement, faute de hauteur; le filament des lampes paraît se ressentir davantage des trépidations dans cette position que dans la verticale. Les voyageurs peuvent éteindre complètement toutes ces lampes; il en résulte une économie de courant notable. En outre, l'éclairage à l'huile a été conservé dans les couloirs et les water-closets; une voiture ne représente ainsi que 60 bougies d'éclairage. Les lampes sont groupées en 2 circuits, ayant le fil négatif commun et les fils positifs séparés; cette disposition évite les inconvénients de la mise en parallèle de 2 batteries, tout en conservant l'indépendance de ces batteries.

» Les batteries sont calculées de façon à pouvoir fournir 20 heures d'éclairage, la décharge étant arrêtée à 1,9 volt, ce qui dispense d'employer un rhéostat ou d'ajouter des éléments supplémentaires à la fin de la décharge. Les 2 batteries d'une voiture se composent chacune de 3 boîtes de 4 éléments de 75 ampères-heure, pesant de 60^{kg} à 70^{kg}, soit 360^{kg} à 420^{kg} par véhicule. Les boîtes sont réunies entre elles par des fiches rondes fendues que l'on introduit dans une douille. Les accumulateurs employés sont de divers types: Tudor, Métaux, Pollak; dans tous les cas, les bacs doivent avoir des couvercles hermétiques, en raison de la manutention des batteries, qui a lieu après chaque voyage ou après deux ou trois voyages, pour les parcours comportant peu d'éclairage. Les boîtes sont transportées par six, sur de petites charrettes à deux roues suspendues sur ressorts et trainées à bras, des quais jusqu'à l'usine de charge,

située au fond de la gare de Paris, et qui emprunte le courant au Secteur.

» *Autres Compagnies françaises.* — Aucune autre Compagnie française n'emploie l'éclairage par accumulateurs amovibles.

» La Compagnie de P.-L.-M. a fait usage de ce système de 1892 à 1898, sur 50 voitures de la banlieue de Paris, munies d'accumulateurs Fulmen, et l'a abandonné complètement en raison des difficultés que causait la manutention des accumulateurs en gare de Paris.

» Les chemins de fer de l'État ont remplacé par un système à dynamo le procédé, employé de 1898 à 1901, pour l'éclairage de 9 voitures à couloir, et consistant à échanger des accumulateurs en gare de Saintes et à les recharger dans les ateliers de Saintes.

» *Chemins de fer de l'État hongrois.* — L'électricité a été appliquée à l'éclairage de grandes voitures à couloirs de première et deuxième classe depuis 1896, et 125 voitures sont actuellement aménagées. Les lampes, au nombre de deux par compartiments, sont de 10 bougies en première classe et de 6 bougies en deuxième classe; elles sont placées dans le réflecteur ordinaire de la lanterne à huile, disposition peu coûteuse mais donnant une mauvaise répartition de la lumière. Chaque voiture absorbe au total environ 160 bougies. Les deux lampes de compartiment sont groupées en dérivation sur deux circuits distincts, mais elles peuvent être placées en série sur l'un ou l'autre des circuits, à l'aide d'un commutateur placé dans les compartiments à la disposition des voyageurs. Chaque circuit comprend 1, 2, 3 et même 4 batteries simples réunies en parallèle et correspondant à des durées d'éclairage de 12, 24, 36 et 48 heures, suivant les trajets à effectuer. Les accumulateurs sont du type Tudor et du type Böse, de 90 ampères-heure de capacité; ils sont groupés par boîtes de 6 éléments, réunies entre elles par des contacts à fiches; les bacs ont des couvercles hermétiques collés. Une batterie de deux boîtes pèse 105^{kg} pour les Böse et 150^{kg} pour les Tudor; le poids d'accumulateurs par voiture varie donc de 210^{kg} à 840^{kg} ou de 300^{kg} à 1200^{kg}, suivant les cas.

» Les boîtes d'accumulateurs sont enlevées des voitures dans les

deux gares de l'Est et de l'Ouest de Budapest, et transportées sur de petits chariots dans les usines de charge.

» *Chemin de fer autrichien du Nord Kaiser-Ferdinand.* — Les premiers essais d'éclairage électrique ont commencé en 1893; la Compagnie possède actuellement 65 voitures-fourgons munies de ce mode d'éclairage. La plupart des voitures aménagées sont des voitures mixtes de première et deuxième classe à couloir que l'on munit de 2 batteries d'accumulateurs pouvant fournir 30 à 35 heures d'éclairage environ et alimentant 2 circuits distincts de lampes, avec positif commun. Dans les voitures de troisième classe faisant de faibles parcours, on ne met qu'une batterie; on en met 3 dans les voitures mixtes pouvant être éclairées 50 heures; dans ces deux cas les circuits de lampes et les batteries sont alors complètement réunis en parallèle. Chaque compartiment renferme 2 lampes de 6 bougies branchées en dérivation sur les 2 circuits d'accumulateurs, et que les voyageurs peuvent mettre en veilleuse en les groupant en série. Les batteries des types Tudor et Böse se composent de 6 boîtes de 2 éléments, pesant 40^{kg} dans le premier cas, et 28^{kg} dans le second, soit, en général, 336^{kg} à 480^{kg} par voiture; les boîtes sont réunies entre elles par fiches. Les voitures de troisième classe ne renferment que 8 lampes de 6 bougies, et les voitures mixtes 16 lampes de 6 bougies. Les accumulateurs ont une capacité de 180 ampères-heure. Les lampes sont fixées au plafond, de part et d'autre de la lampe à huile, formant éclairage de secours, sur de petits réflecteurs métalliques et enfermées dans une coupe. Lorsque j'ai visité l'installation de cette Compagnie, en 1898, les coupes étaient dépolies en première et deuxième classe, ce qui enlevait une quantité sensible de lumière.

» Les accumulateurs sont portés sur de petits chariots dans l'usine de charge située dans la gare du Nord à Vienne.

» Les chemins de fer de l'État autrichien n'ont qu'une vingtaine de voitures éclairées par accumulateurs rechargés à la gare de l'Ouest de Vienne ou à Lindau.

» *Chemins de fer italiens de la Méditerranée.* — Cette Compagnie a entrepris, en 1893, des essais d'éclairage électrique par accumu-

lateurs, qui ont été suivis d'applications assez étendues. Lorsque j'ai visité les installations de cette Compagnie, en 1899, elle avait monté l'éclairage électrique sur 116 voitures à water-closets de première, deuxième et troisième classe, du type à compartiments séparés et à très petit couloir adopté sur certaines voitures du P.-L.-M., destinées aux trains express; ce nombre doit s'être accru, car on était décidé à appliquer l'électricité à toutes les nouvelles voitures à couloir qui seraient construites.

» La disposition des lampes est assez curieuse. Dans l'ancienne cavité du plafond occupée par la lanterne à huile, on a placé un porte-lampe dont le réflecteur porte, en son centre, une lampe de 16 bougies et, dans une position excentrée, une petite lampe de 6 bougies; à l'aide d'un bouton placé à l'intérieur du compartiment, près de la lanterne, les voyageurs peuvent éteindre la lampe de 16 bougies et allumer la lampe de 6 bougies, considérée comme veilleuse; la commutation s'opère à l'aide d'un électro-aimant placé sur le porte-lampe, qui est commandé par le bouton, mais qui agit aussi automatiquement dans le cas de rupture de la lampe principale. Ce système est bien compliqué, et il est à craindre qu'il donne lieu à des ratés, comme cela est arrivé pour un dispositif analogue employé au P.-L.-M. lors des essais dont il a été parlé plus haut. Dans les water-closets, les lanternes sont semblables, mais la lampe principale n'est que de 6 bougies, et la lampe de secours ne s'allume qu'en cas d'extinction de la première. Une voiture représente une intensité lumineuse totale de 60 à 76 bougies. Elle est alimentée par 2 batteries en parallèle lorsque la durée d'éclairage ne doit pas dépasser 18 heures et, pour les plus grands trajets, de 4 batteries en parallèle pouvant fournir 36 heures. Toutes les voitures sont munies d'un compteur horaire Aubert; suivant les chiffres lus sur ce compteur, les agents des gares de Turin, Milan et Rome, où se trouvent des usines de charge, laissent ou remplacent les batteries, ce qui ne présente ici aucune difficulté, parce que les voitures éclairées à l'électricité ne circulent que sur la grande ligne principale, presque unique, des réseaux. Les boîtes d'accumulateurs sont transportées sur chariots dans les usines de charge placées à l'intérieur même des gares, à proximité des quais; cette condition a été reconnue indispensable pour faciliter la manutention, et a conduit

à déplacer les usines primitives de Milan et Turin, qui se trouvaient au début trop éloignées du centre de la gare.

» Les batteries sont formées de 2 boîtes de 95^{kg}, contenant 6 éléments de 130 ampères-heure, que l'on introduit dans les compartiments de coffres en fer munis intérieurement de rouleaux d'acier facilitant la mise en place. Les connexions des boîtes entre elles s'établissent, automatiquement, par 2 contacts fixes verticaux placés latéralement sur un bloc de bois vissé sur le fond des coffres, et sur lesquels viennent appuyer 2 lames légèrement flexibles, montées dans une encoche postérieure de la boîte et reliées aux 2 pôles extrêmes. Ces 2 pôles sont également reliés à 2 blocs fixés sur la face antérieure de la boîte pour permettre de vérifier sa tension. Ce mode de connexion donne de bons résultats à condition de maintenir les contacts bien propres.

» Les éléments sont fournis et entretenus à forfait par la maison Heusemberger, de Monza; ceux que j'ai vus avaient des plaques du type Huber à petites pastilles carrées perforées, semblables à celles de Marly employées au Jura-Simplon; mais le fournisseur parlait de remplacer ces plaques, et l'a fait, je crois, par d'autres du type Hagen, constituées par deux cadres à nervures renfermant entre eux de la matière active. Chaque voiture porte 380^{kg} ou 760^{kg} d'accumulateurs, suivant qu'elle effectue un petit ou un grand parcours.

» *Chemins de fer de l'Adriatique.* — Les chemins de fer italiens de l'Adriatique ont, depuis le mois de novembre dernier, éclairé électriquement 80 voitures de première et deuxième classe à couloir partiel, circulant dans les trains express; et, d'après les renseignements qui m'ont été fournis par la Compagnie, ce mode d'éclairage va être étendu prochainement à une centaine de voitures existantes et aux voitures nouvelles à construire. Les batteries sont identiques à celles de la Méditerranée, du type Hagen-Heusemberger. Les voitures de deuxième classe, de petite longueur, portent 2 batteries séparées, reliées à 2 circuits à négatif commun. Les voitures de deuxième classe de grande longueur portent 3 batteries, et celles de première classe 4 batteries, qui sont toutes réunies en parallèle, mais les lampes sont réparties sur 2 circuits à fils séparés; le poids d'accumulateurs est donc de 380^{kg}, 570^{kg} ou 760^{kg}, suivant le

type de voitures, dans lequel l'éclairage total varie de 112 à 192 bougies; le nombre de batteries est calculé de façon à assurer une durée d'éclairage de 22 heures environ. Un compteur horaire Aubert est placé sur le circuit général de la voiture. L'échange et la recharge des accumulateurs s'effectuent actuellement en gare de Milan et de Rome; mais d'autres stations sont prévues à Venise, Bologne et Foggia. Toutes les stations de charge sont ou seront placées dans les gares, à très peu de distance des quais, de façon que le transport des accumulateurs sur de petits chariots soit très court. Les lampes sont partagées entre les 2 circuits de chaque voiture, de façon à pouvoir en utiliser la moitié seulement au passage des tunnels pendant le jour. Les couloirs et water-closets sont éclairés par des lampes de 8 bougies fixées sur appliques au plafond. Les compartiments sont éclairés par des lustres de 2 lampes de 8 bougies en deuxième classe, et de 3 lampes de 8 bougies en première classe, chacune pourvue d'un interrupteur spécial; il y a, en outre, dans chaque compartiment, une lampe supplémentaire de 8 bougies contenue dans une ampoule en verre bleu, et placée soit au milieu, soit à côté du lustre; lorsqu'on veut avoir un éclairage en veilleuse, on éteint les lampes blanches du lustre et l'on allume la lampe bleue. L'éclairage de secours est fourni par les anciennes lampes à huile.

» *Chemins de fer badois.* — Les chemins de fer badois ont appliqué l'éclairage électrique, depuis 1895, aux trains express du service Bâle-Mannheim. Mais il n'y a que 35 voitures équipées. Ces voitures, du type à compartiments séparés et water-closets, contiennent des lampes de 5 bougies dans les water-closets et 2 lampes de 10 bougies dans chaque compartiment. Les 2 lampes sont disposées sur un réflecteur placé dans la lanterne à huile, disposition peu élégante; elles sont alimentées par 2 circuits distincts munis chacun d'un compteur horaire. Chaque circuit est desservi par 1 ou 2 batteries de 8 éléments en parallèle, suivant que l'on prévoit un éclairage inférieur ou supérieur à 18 heures. Chaque batterie est composée de 2 boîtes de 4 éléments de 130 ampères-heure pesant 64^{kg} et comportant des connexions automatiques par bandes de contact inférieures, comme celles du Jura-Simplon. Les boîtes sont échangées en gare de Mannheim et transportées sur un fourgon

spécial à étagères dans l'usine électrique située à une certaine distance de la gare, mais elles ne sont pas chargées dans le fourgon même, elles sont sorties des boîtes et placées sur des étagères munies de bandes de contact semblables à celles des coffres des voitures. Les accumulateurs employés au début étaient du type Pulvis, de Gelnhausen, à plaques rainées remplies de plomb pulvérisé, oxydé ou réduit; je ne sais si ce type a été conservé.

» *Autres chemins de fer allemands.* — Les chemins de fer de l'État prussien ont, de 1892 à 1895, fait des essais d'éclairage par accumulateurs Pulvis, de Gelnhausen, sur quelques voitures du service Berlin-Francfort et ont abandonné ces essais; il n'y a plus que le train impérial qui soit éclairé par accumulateurs. Le gaz est appliqué actuellement sur tout le matériel des chemins de fer de l'État prussien et sur la plupart des autres lignes allemandes. Quelques petites Compagnies privées, telles que celles de Dortmund, de Mecklenbourg, possèdent seules un nombre très faible de voitures éclairées par accumulateurs.

» Je ne crois pas qu'il y ait en Russie de voitures éclairées par accumulateurs isolés.

» Comme vous pouvez le voir, l'éclairage par accumulateurs rechargés dans une usine fixe, s'il est répandu dans beaucoup de Compagnies, n'est appliqué dans ces Compagnies que sur des voitures de types récents affectées exclusivement aux trains rapides, et jamais sur les voitures des trains ordinaires omnibus ou directs, sauf au Jura-Simplon. Ceci provient certainement de ce que, en dehors de ce dernier cas, qui est tout à fait spécial, j'insiste sur ce point, le système par accumulateurs amovibles conduit à des dépenses d'éclairage très élevées, en raison des frais considérables et de la gêne causée par la manutention des boîtes; en outre, il oblige à avoir une réserve assez importante de batteries pour les cas où l'on n'a pas le temps (de 7 à 8 heures) de recharger les accumulateurs pendant le stationnement du train; c'est le procédé électrique le plus coûteux.

b. INSTALLATION OU LA CHARGE EST EFFECTUÉE SUR LES VOITURES MÊMES.

» *Nord français.* — Après quelques essais préliminaires, la Compa-

gnie du Nord a commencé, en 1889, d'après la Communication de M. Sarcia, rappelée plus haut, à employer l'éclairage électrique sur les voitures d'un train rapide Paris-Calais dit *Club-train*, puis l'a étendu aux trains-tramways de Saint-Denis, Saint-Ouen et Pantin, aux trains de Ceinture-Nord et à un certain nombre de voitures, généralement de luxe, circulant sur les grandes lignes. Enfin, cet éclairage a été appliqué à toutes les grandes voitures de première et deuxième classe, à bogies, mises en service depuis quelques années, et qui s'élèvent actuellement au nombre de 165.

» Dans ces dernières voitures on trouve, dans les couloirs et plates-formes, 6 lampes montées dans des globes unis fixés au plafond; dans les compartiments, généralement au nombre de 7, les lampes sont montées sur appliques en forme de col de cygne fixées sous le milieu du filet à bagage, et renfermées dans un œuf dont l'extrémité est dépolie; dans le cabinet de toilette se trouve une applique semblable. Le dépoli, qui est indispensable pour ne pas fatiguer les yeux, absorbe une quantité notable de lumière. Aussi a-t-on remplacé récemment par des lampes de 12 bougies les lampes de 6 bougies qui avaient été placées primitivement dans les compartiments; dans le couloir, on a conservé des lampes de 6 bougies. La lumière totale fournie dans une voiture dépasse ainsi 200 bougies; mais on réalise une économie de courant sensible dans les grands trajets de nuit, par le fait que les voyageurs peuvent éteindre une ou deux des lampes de compartiments à l'aide d'un petit interrupteur placé à côté de chaque lampe. Les lampes, qui sont de 55 volts, sont choisies de très faible consommation et réformées d'office après 300 heures d'éclairage environ. Les voitures à bogies portent, entre la caisse et le tirant du brancard, des coffres pouvant contenir 2 batteries de 30 éléments; mais on ne prend 2 batteries que pour les longs trajets et notamment pour les Services internationaux. Dans une petite armoire, s'ouvrant sur le couloir, sont placés 2 réducteurs auxquels aboutissent des fils venant des 1^{er}, 28^e, 29^e et 30^e élément de chaque batterie et qui portent une quatrième touche marquée *charge*. Pendant la plus grande partie de l'éclairage, les manettes sont placées sur la touche 28, dans laquelle 28 éléments de chaque batterie sont groupés en quantité sur la canalisation de lampes, divisée elle-même en 2 circuits couplés

en parallèle. Si la lumière baisse à la fin de la décharge, les conducteurs mettent en circuit le 29^e et le 30^e élément; enfin, en plaçant les manettes sur la touche *charge*, on relie les 2 batteries en série. A côté des réducteurs, sont placées, dans l'armoire, les bornes terminales positive et négative. Chaque batterie se compose de 15 paniers légers, à treillis de fer plombé et verni, contenant chacun 2 éléments de 140 ampères-heure, disposés dans des bacs en ébonite fermés par une feuille souple en caoutchouc, réunis entre eux par une connexion en barre ronde de plomb soudée. Les paniers, qui pèsent 47^{kg} chacun, reposent dans les coffres, sur des plaques de verre cannelé, destinées à empêcher les dérivations par le suintement de l'acide; ils sont réunis entre eux par des câbles sous caoutchouc terminés par une languette, en une sorte de maillechort peu oxydable, qui s'engage sur un pince formant ressort, de même métal, noyée à l'extrémité des électrodes terminales. Une voiture à bogies renferme 700^{kg} ou 1400^{kg} d'accumulateurs suivant qu'elle circule avec 1 ou 2 batteries.

» Dans les voitures à 2 essieux, on se sert exactement des mêmes paniers d'accumulateurs, mais la batterie n'est formée que de 8 paniers, soit 16 éléments, répartis dans 4 petits coffres fixés sous le châssis et représentant un poids total de 376^{kg}. Un coffret extérieur contient 2 bornes et 1 réducteur semblable à celui des voitures à bogies, mais dont les touches correspondent à 14, 15 et 16 éléments; la marche normale se fait avec 14 éléments et les lampes, étalonnées à 25 volts seulement, sont très poussées. La Compagnie du Nord, en prévision de l'extension de l'éclairage électrique, a muni de coffres à accumulateurs au moins 3000 de ses voitures, au fur et à mesure de leur passage dans les ateliers; plus d'un millier de voitures ont été munies de la même manière de la canalisation électrique. De cette manière, la Compagnie du Nord pourra éclairer, lorsqu'elle le désirera, un nombre considérable de voitures, sans avoir à déboursier en un seul exercice la somme totale de l'équipement. Les 4, 5 ou 6 compartiments séparés ne contiennent qu'une lampe électrique de 8 à 10 bougies montée avec réflecteur en porcelaine sur un porte-lampe, qui se place dans la lanterne ancienne à la place de la lampe à huile. Le porte-lampe est muni, à cet effet, de 2 bandes verticales contre lesquelles viennent appuyer 2 tetons à

ressort reliés à la canalisation principale extérieure de la voiture et noyés dans la toiture. Comme les tetons font saillie sur la paroi intérieure de la cage de lanterne, il est nécessaire de glisser convenablement, sur cette paroi, un trapillon en ébonite (qui se trouve en attente sur le porte-lampe électrique), lorsqu'on veut remplacer celui-ci par une lampe à huile, de façon à faire rentrer ces tetons, faute de quoi le corps de la lampe à huile formerait un court-circuit et serait fondu.

» Toutes les lampes d'une voiture sont allumées ou éteintes à l'aide d'un commutateur fixé sur l'un des panneaux de bout de la voiture et que le chef de train peut manœuvrer des deux côtés du train à l'aide d'une tringle.

» Les accumulateurs employés par la Compagnie du Nord pour l'éclairage électrique de ses voitures ont d'abord été du type Laurent Cély à grandes pastilles, dont les positives se désagrégeaient assez vite; ils ont été remplacés par un autre type de la Société des Métaux, dit à *augets*, dans lequel les plaques positives ont la forme d'une arête de poisson remplie de matière active, qui se conserve mieux et dont les augets peuvent être réempâtés deux fois lorsqu'ils se sont vidés. Les plaques étaient, au début, serrées par écrous sur une tige de laiton, mais on a dû abandonner ce montage, faute de hauteur dans les voitures à bogies, et l'on a soudé toutes les plaques sur des ponts en plomb.

» Des usines de charge ont été aménagées dans les gares du Landy (Saint-Denis), de Saint-Ouen, de Calais et de Fives (près Lille) qui, toutes, possédaient déjà des installations électriques d'éclairage. L'usine la plus importante est celle du Landy; elle est établie dans un garage où s'effectuent le nettoyage, la visite, les menues réparations et la formation de tous les trains partant de Paris. Le courant triphasé arrive de l'usine de Saint-Ouen; sa tension est abaissée au Landy, puis il est transformé en courant continu par une commutatrice qui présente la particularité intéressante de pouvoir fournir une tension variable dans de très grandes limites, de 200 à 600 volts, sans donner lieu à de fortes étincelles : ce résultat est obtenu à l'aide d'un enroulement excitateur à 400 volts et d'un second enroulement excitateur auxiliaire de 200 volts dont l'action peut s'ajouter à celle du premier, ou s'en

déduire. Cette disposition permet de charger, sans difficulté, toutes les batteries reliées en série d'un train, quel que soit le nombre de véhicules compris dans ce train. Le courant amené à un coffret de prise, par une série de lignes aériennes sur poteaux en bois, est amené aux extrémités du train à l'aide de deux pinces en laiton légèrement flexibles, protégées par une poignée en bois et présentant en creux la forme d'une croix (+) et d'un trait (—). Ces pinces sont introduites dans des bornes de formes correspondantes que l'on trouve près du réducteur, dans l'armoire du couloir sur les voitures à bogies, ou dans un petit coffret extérieur sur les voitures ordinaires. Les batteries des voitures sont réunies entre elles par des câbles volants, terminées par des pinces de même forme que l'on fixe, pendant la charge, sur les bornes des voitures. La charge se fait à peu près à potentiel constant et dure 3 heures environ. Les boîtes d'accumulateurs sont examinées superficiellement sur les voitures, pendant la charge, tous les 15 jours à peu près, et les éléments sont retirés des voitures et examinés complètement à l'atelier tous les 2 mois. La disposition consistant à avoir deux éléments supplémentaires de réserve n'est pas bonne pour la conservation de ces éléments, qui sont toujours beaucoup trop chargés; aussi change-t-on ces éléments par permutation chaque fois que l'on porte les batteries à l'atelier.

» La Compagnie du Nord assure, moyennant une redevance forfaitaire, l'éclairage électrique de 9 grands bureaux-postes, de 14^m et 18^m de long, qui circulent sur son réseau, à l'aide de batteries d'accumulateurs du même type que celles des voitures à bogies de la Compagnie. La charge de ces accumulateurs est effectuée en gare de Paris-Nord, sur les wagons mêmes, pendant leur garage, mais chaque batterie est branchée isolément sur le circuit d'éclairage de la gare à 110 volts. On emploie également le courant de la gare pour éclairer les lampes des bureaux-postes, en cas de besoin, pendant les quelques heures de travail qui précèdent le départ, ce qui est un moyen habile d'économiser le courant des accumulateurs.

» *Chemin de fer de Sceaux.* — Depuis 1896, toutes les voitures, actuellement au nombre de 112, servant à la formation des trains

circulant en semaine de Paris à Robinson et de Paris à Limours, sont éclairées à l'électricité. On n'a conservé l'éclairage à l'huile que sur le matériel de renfort employé le dimanche. Les lampes, de 23 volts, consomment 3 watts par bougie. Il y a 2 lampes de 4 bougies dans les 4 compartiments des voitures de première classe; 1 lampe de 6 bougies dans les 6 compartiments des voitures de deuxième classe; 1 lampe de 4 bougies dans les 7 compartiments des voitures de troisième classe. Il n'y a qu'un seul interrupteur principal extérieur, manœuvré par le conducteur, pour toute la voiture. Les lampes, munies d'un réflecteur en porcelaine, sont fixées sur un bloc de bois introduit dans les lanternes ordinaires à la place de la lanterne à huile. Les connexions sont établies entre ce porte-lampe et la canalisation extérieure de la voiture par 2 verrous solitaires du bloc de bois et que l'on engage dans des pinces en maillechort noyées dans la toiture. Avec ce dispositif, il n'y a pas à craindre de court-circuit dans le cas d'introduction d'une lampe à huile; mais, en général, tous ces contacts sur toiture demandent beaucoup d'entretien, étant exposés à la poussière et à l'humidité. Chaque voiture est munie d'un compteur horaire.

» Les accumulateurs sont, pour les deux tiers, du type à augets de la Société des Métaux et, pour le reste, du type Oméga analogue au Tudor, de la maison Geoffroy et Delore, de 120 ampères-heure au minimum. Chaque voiture renferme une batterie de 12 éléments, divisée en 4 boîtes de 3 éléments disposées dans 4 coffres fixés sous le châssis. Les plaques sont réunies entre elles par des tiges à écrous en laiton, les bacs sont fermés par une feuille souple de caoutchouc. Les pôles de la boîte aboutissent à deux bandes de laiton montées sur les faces latérales et qui viennent s'appliquer sur des lames de laiton horizontales flexibles, bombées, fixées sur les parois latérales internes des coffres. Ce dispositif ne donne de bons contacts que si les lames flexibles sont confectionnées en laiton très fortement écroui. Les extrémités de la batterie aboutissent à 2 bornes à vis du type ordinaire, fixées sous le châssis aux deux extrémités de la voiture. Les voitures sont réunies, pendant la charge, par des câbles volants dont les extrémités sont serrées dans les bornes. Le courant de 200 volts provenant des dynamos d'éclairage à arc de la nouvelle gare de Sceaux est amené sur les trains, pendant leur stationnement sur les

voies de garage, par des câbles aériens montés sur poteaux aboutissant à des coffrets avec bornes de prise de courant, et sert à la charge de 6 batteries réunies en série; la charge dure 4 heures environ.

» *Chemin de fer de Ceinture.* — Tout le nouveau matériel construit pour la ligne de Ceinture quelque temps avant l'Exposition de 1900 et composé de 156 voitures de deuxième classe, 30 voitures de première classe et 57 fourgons, soit au total 243 véhicules, a été muni de l'éclairage électrique. Les compartiments de deuxième classe contiennent 1 lampe, qui était de 6 bougies au début et qui a été portée récemment à 10 bougies, placée dans un porte-lampe identique à celui des voitures du Nord; ces voitures de deuxième classe et les fourgons portent une batterie de 16 éléments et tous les agencements identiques à ceux du Nord, sauf les accouplements entre les boîtes qui sont inverses, c'est-à-dire que ce sont les câbles volants qui sont terminés par des pinces. Dans les voitures de première classe, on avait d'abord mis 2 lampes de 8 bougies alimentées par une petite batterie de 16 éléments, mais on a mis récemment dans les lanternes des lampes de 12 bougies et l'on a remplacé la batterie de 16 éléments par une autre de 30 éléments. La charge se fait sur les trains mêmes, en gare de Courcelles, à l'aide d'une installation à potentiel variable analogue à celle du Landy et utilisant le même courant à haute tension de Saint-Ouen; la charge se fait le plus souvent sous 300 volts et dure 3 heures environ.

» La ligne de Ceinture comportant, en dehors de nombreux passages sous des ponts, 4 grands tunnels, on était obligé autrefois de laisser les lampes à huile allumées pendant tous les voyages de jour et même pendant les très courts stationnements, c'est-à-dire pendant une durée quotidienne de 18 heures environ. Depuis que l'éclairage électrique fonctionne, on n'allume plus pendant le jour qu'au passage des tunnels. L'éclairage électrique procure, par suite, une économie très notable sur l'éclairage à l'huile ou au gaz.

» L'éclairage sur la ligne de Ceinture présente une autre particularité. Tandis que, sur toutes les autres lignes, l'indépendance des voitures est considérée comme ayant grand avantage, on a trouvé que sur cette ligne elle constituait un inconvénient. Les

deux agents de trains n'avaient pas, en effet, le temps suffisant, pendant les arrêts aux stations, pour allumer et éteindre isolément toutes les voitures du train par le tirage des tringles de commutateurs comme ils le faisaient au début; bien entendu, il leur était impossible d'allumer sous les ponts un peu longs situés entre deux stations. On a tourné la difficulté en réalisant l'allumage général du train par les fourgons, tout en conservant l'alimentation indépendante des voitures. On n'a rien changé à l'installation de celles-ci; on a simplement ajouté, sur chaque voiture, un nouvel interrupteur actionné par un relais, tous les relais du train étant réunis et commandés de l'un ou l'autre des fourgons. Les voitures ont été munies, à cet effet, d'un accouplement par câbles souples terminés par une languette protégée par une douille en aluminium, que l'on introduit dans une pince fixée sur le panneau extérieur de bout du véhicule. Sur ce panneau est également fixée une petite boîte en fonte renfermant l'interrupteur à relais; cet appareil se compose d'un solénoïde dont le noyau porte une tête articulée. L'appareil étant au repos, si l'on envoie un courant dans le solénoïde, la tête du noyau se soulève, s'engage par la droite dans un aiguillage en lames de laiton et vient tomber sur un bloc intermédiaire qui ferme le circuit d'éclairage de la voiture et le maintient allumé d'une manière permanente. A la seconde émission de courant, la tête du noyau est soulevée, puis s'engage par la gauche dans un aiguillage qui la fait retomber à la position de repos. Les émissions de courant sont provoquées par le commutateur à lames, placé dans un coffret du fourgon et que l'agent de train manœuvre en tirant un bouton extérieur; mais il doit en même temps dégager, à l'aide d'une clef spéciale, un taquet qui verrouille le commutateur (afin d'éviter les manœuvres intempestives que pourraient causer les voyageurs); un ressort rappelle de lui-même le commutateur à la position de repos. Chaque fourgon renferme un commutateur et un interrupteur à relais, semblable à celui des voitures, mais qui porte, en outre, un voyant *éteint* ou *allumé* permettant à l'agent de train de se rendre compte de l'opération qu'il produit sur tout le train. Les ratés ne se produisent que s'il manœuvre trop vite la tige de l'interrupteur de commande, parce qu'alors l'émission de courants n'est pas assez longue pour que la tige de relais ait le temps

de franchir complètement l'aiguillage. Ce système, imaginé par M. Guédon, ingénieur de la Ceinture, est ingénieux, mais il n'est pas à imiter. Du moment qu'on s'astreint à avoir une conduite générale sur tout le train, il serait plus rationnel, dans le cas d'une installation nouvelle semblable, de n'avoir qu'une grosse batterie dans un fourgon.

» *Compagnie d'Orléans.* — En dehors des trains de la ligne de Sceaux, la Compagnie d'Orléans a entrepris, en 1898, l'éclairage de quelques trains express composés de grandes voitures à couloir, formant un total de 30 véhicules. Les accumulateurs sont les mêmes que ceux de la ligne de Sceaux, mais les batteries sont de 27 ou 36 éléments suivant le type de voitures. Il y a deux lampes de 6 bougies ou une lampe de 10 bougies par compartiment. Les accumulateurs sont rechargés en série sur les voitures mêmes, en gare de Paris, place Walhubert, avec du courant d'arcs.

» *Compagnie du Midi français.* — Depuis 1897, la Compagnie du Midi a appliqué l'éclairage électrique à 20 voitures, munies d'accumulateurs Faure-Sellon-Volckmar, fournis par la maison Tricoche, qui sont rechargés sur les voitures elles-mêmes, en gare de Bordeaux Saint-Jean.

» *Autres Compagnies.* — Le Rapport de M. Banovits, au Congrès des Chemins de fer de 1900, cite les Chemins de fer de l'Etat roumain comme employant, sur 88 voitures, l'éclairage par accumulateurs à charge rapide, mais n'indique pas si ces accumulateurs sont rechargés sur les trains mêmes ou sortis des voitures.

» L'éclairage par accumulateurs rechargés sur les trains mêmes est certainement plus commode et moins coûteux que le système par batteries amovibles parce qu'on évite les frais de manutention des boîtes et qu'on n'a besoin que d'une faible réserve de batteries. En outre, la durée de charge est moins longue parce qu'on opère à peu près à potentiel constant et qu'on ne demande pas aux batteries la totalité de leur capacité avant de les recharger. Néanmoins, l'immobilisation des trains pendant 4 ou 5 heures n'est admise souvent qu'avec difficulté par les services de gares.

» En outre, les frais de visite et d'entretien des accumulateurs restent les mêmes que dans le système *a*; ils sont plutôt même un peu plus élevés, parce que les batteries sont examinées moins souvent.

» Or ces frais sont très importants et beaucoup plus élevés que dans des batteries fixes. Les plaques soumises aux trépidations continues se désagrègent bien plus vite; les boîtes et leurs connexions se détériorent sous l'influence des vapeurs acides et demandent des réparations fréquentes.

» Quelle que soit la méthode de charge employée, l'éclairage des voitures par batteries isolées est toujours coûteuse en raison de la grande quantité d'accumulateurs qu'elle exige, et la durée de charge constitue une sujétion gênante.

B. — Éclairage des trains par des systèmes comportant des dynamos.

III. ÉCLAIRAGE D'UN TRAIN ENTIER AVEC UN OU DEUX GÉNÉRATEURS SEULEMENT.

C. PAR DYNAMOS RECEVANT LE MOUVEMENT DE L'ESSIEU.

» Les premiers essais de ce genre remontent à une époque aussi ancienne, 1881, que celle où eurent lieu les premiers essais par accumulateurs isolés, et des applications définitives ont été réalisées avec ce système dès 1882, c'est-à-dire 7 ans au moins avant les premières applications fermes de l'éclairage par accumulateurs isolés.

» Je passerai sous silence les systèmes : Tommasi, essayé à l'État belge et à l'État français en 1883; de l'usine de Cannstadt, essayé à l'État prussien et au Wurtemberg en 1884; de Calo, essayé au Sud autrichien en 1884; du Midland, essayé en 1885; Timmis, essayé sur le Sud-Express en 1890. Tous ces systèmes, très rudimentaires, ont été abandonnés parce qu'ils fonctionnaient mal et exigeaient, pour la plupart, la présence d'un agent pour régler les appareils, ce qui rendait l'éclairage très onéreux.

» *London Brighton Railway (Angleterre)*. — Ayant obtenu de mauvais résultats dans des essais d'éclairage par accumulateurs, MM. Stroudley et Houghton, Ingénieurs du Chemin de fer de Brighton, étudièrent en 1881 un système d'éclairage électrique d'un train entier, qui commença à fonctionner en 1882.

» La dynamo, placée sur le plancher du fourgon, reçoit son mouvement d'un essieu par un renvoi de mouvement et deux courroies dont la dernière est verticale et suit les déplacements de la caisse (dont elle est solidaire) par rapport au châssis.

» En face du collecteur de la dynamo se trouvent deux paires de balais verticaux (ayant des connexions inverses avec les accumulateurs) qui, au repos, sont écartés du collecteur. Lorsque la dynamo se met en mouvement, un appareil centrifuge agit sur une des paires de balais et l'applique contre le collecteur; un peu plus tard, après une certaine augmentation de vitesse, l'appareil centrifuge établit un contact qui donne le courant à un relais, lequel ferme le circuit de la dynamo sur les accumulateurs. Suivant que la dynamo démarre dans un sens ou dans l'autre, elle entraîne à droite ou à gauche un balancier fou qui fait basculer l'une ou l'autre paire de balais et la dirige contre le collecteur.

» Le Rapport de MM. Weissenbruch et E. Sartiaux, au Congrès des Chemins de fer de 1889, indique un procédé de réglage dû à MM. Stroudley et Houghton et consistant à disposer sur l'inducteur de la dynamo, à côté du circuit shunt, un circuit inverse intercalé en série dans le circuit de charge des accumulateurs, et destiné vraisemblablement à provoquer une désaimantation proportionnelle à l'augmentation de vitesse. Ce dispositif n'est pourtant pas utilisé dans le système installé par MM. Stroudley et Houghton au London Brighton. On se contentait, au début, de limiter les variations de force électromotrice avec la vitesse, par un déplacement automatique des balais, sous l'action du même appareil centrifuge qui sert à la pose des balais ce qui a pour effet de réduire le nombre de spires embrassé, procédé employé également dans certaines génératrices pour distributions à intensité constante, et qui figurait aussi, m'a dit notre président, M. Harlé, dans les premiers brevets Gramme. Ce réglage approximatif de la force électromotrice était suffisant parce qu'on faisait usage, à cette époque, de deux batteries

d'accumulateurs; une d'elles A était reliée directement à la dynamo et mise en charge, pendant que les lampes étaient alimentées par la seconde batterie B complètement isolée et fournissant par conséquent une lumière parfaitement constante sans interposition d'aucune résistance; les batteries étaient interverties à l'aide d'un commutateur à main. Mais on risquait fort d'épuiser les accumulateurs si l'on ne changeait pas à temps la position des batteries, ou bien il aurait fallu employer des batteries considérables capables d'assurer chacune par leur décharge une longue durée d'éclairage.

» Aussi, après quelques années, ce dispositif a-t-il été remplacé par un autre ne comportant qu'une seule batterie branchée constamment en dérivation avec la dynamo et les lampes, et qui peut être beaucoup plus petite puisqu'elle ne sert plus que de régulateur, sauf pendant les arrêts du train où elle fournit seule le courant. Les appareils sont restés les mêmes, mais on a ajouté en série, dans le circuit des lampes, un rhéostat dont le frotteur est commandé par un solénoïde parcouru par le courant total débité par la dynamo. La résistance variable de ce rhéostat est destinée à maintenir la tension constante aux lampes, malgré les variations de la force électromotrice de la dynamo avec la vitesse, que le réglage approximatif par décalage des balais laisse subsister et malgré la différence de tension des accumulateurs, de 0,3 volt environ, suivant qu'ils sont en charge pendant la marche du train, ou en décharge pendant les arrêts; dans ce dernier cas la résistance intercalée entre les lampes et la batterie est nulle; cette résistance atteint une certaine valeur (correspondant au passage des éléments de la tension de 2 volts à 2,2 volts, lorsque la dynamo fournit le courant aux lampes, puis augmente légèrement au fur et à mesure que le courant de charge fourni aux accumulateurs augmente et fait monter la tension. Ce mode de variation de la résistance d'absorption des lampes n'est pas parfait, théoriquement tout au moins, car il agit en sens inverse de la saturation de la batterie; en effet, lorsque la batterie devient saturée, sa force contre-électromotrice augmentant, le courant de charge diminue, toutes choses égales d'ailleurs, et par suite la résistance d'absorption diminue, alors qu'il faudrait qu'elle soit augmentée puisque la tension fournie par la batterie aux lampes augmente. En pratique, la lumière ne subit que des variations acceptables, parce

qu'on laisse la dynamo charger les accumulateurs pendant les parcours de jour, toujours assez longs sur les trains considérés, où les lampes ne sont pas allumées; de la sorte, les accumulateurs se trouvent toujours chargés presque à saturation au début de la période d'éclairage, et l'on peut régler la résistance d'absorption pour cet état de saturation, dont ils s'écartent peu pendant toute la soirée; on n'observe donc guère de surélévation des lampes au delà de la valeur admise comme normale.

» Dans un fourgon est placé, à côté de la dynamo de 5 chevaux fournissant en moyenne 40 ampères sous 55 volts, une batterie de 24 éléments de 400 ampères-heure représentant 9 à 10 heures d'éclairage pour un train de 10 voitures, comportant 1 lampe de 10 bougies ou de 16 bougies par compartiment et absorbant une lumière totale de 600 à 700 bougies.

» La dynamo et les appareils des fourgons sont visités une fois par jour pendant un stationnement en gare de London-Bridge, mais fonctionnent sans aucune surveillance pendant toute la journée.

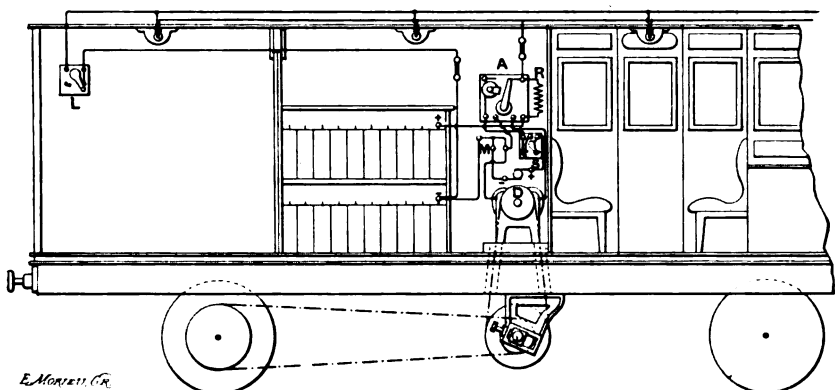
» Le système Strondley et Houghton a reçu rapidement une grande extension au London Brighton où il a été appliqué à 38 trains de banlieue et 3 trains express, soit en tout à 43 trains représentant ensemble 430 voitures. Cet effectif existait encore en 1898, lorsque j'ai visité l'installation du London Brighton; à ce moment la Compagnie avait mis à l'essai le système Stone d'éclairage électrique par voitures indépendantes, dont il sera parlé plus loin, sur 24 voitures. Ce système ayant donné de bons résultats a été substitué au système d'éclairage des trains en bloc, d'abord sur les trois trains express, puis sur les autres trains où l'accouplement forcé des véhicules pouvait présenter de la gêne dans certains cas. Mais le système Houghton a été et sera conservé sur 26 trains de banlieue comprenant 271 voitures et ayant toujours des compositions uniformes, parce que ce système procure, d'après les ingénieurs de la Compagnie, un éclairage très économique, bien meilleur marché notamment que par le système Stone.

» *Great Northern (Angleterre)*. — Le chemin de fer du Nord de l'Angleterre a réalisé, en 1886, l'éclairage d'un train de banlieue à l'aide d'un système analogue à celui du chemin de fer de Brighton.

Le système fut ensuite étendu à 7 autres trains de banlieue de 11 voitures, soit en tout 8 trains et 90 voitures éclairées. La situation est la même depuis de longues années; le système n'a pas été étendu parce qu'on n'a pas trouvé d'autres trains non sujets à coupures et intercalations de véhicules divers, mais on en est toujours très satisfait, et l'on n'a, d'ailleurs, pas encore employé dans cette Compagnie les systèmes par dynamos indépendantes.

» La figure 1 montre l'ensemble de l'installation. La dynamo D,

Fig. 1.



placée dans un fourgon, est commandée par courroie et reçoit son mouvement d'un essieu. Elle absorbe 4 chevaux environ et peut fournir 45 ampères sous 50 volts. Le collecteur de cette dynamo bipolaire présente diverses dispositions toutes particulières. Au lieu d'être formé d'un tambour unique à lamelles, il est formé de 2 cy-

Fig. 2.

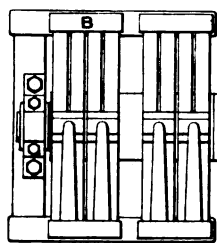
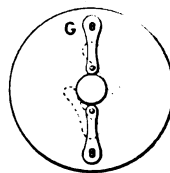


Fig. 3.



lindres accolés sur l'arbre de la dynamo et dont les lamelles correspondent pour chacun d'eux à la moitié des bobines de l'induit; en outre, ils présentent un décalage de 180° l'un par rapport à l'autre,

de sorte que, sur chaque tambour, appuie seulement un balai et que les deux balais B se trouvent tous deux au-dessus du tambour, ce qui facilite leur visite (*fig. 2*).

» Sur l'axe de la dynamo est monté un appareil à force centrifuge G qui, à une certaine vitesse, établit le contact d'un relai commandant un commutateur conjoncteur A (*fig. 1*) placé sur un petit panneau contre une cloison du fourgon.

» Les connexions de la dynamo avec les accumulateurs sont interverties, lorsque le sens de rotation change, par la rotation d'un petit disque P (*fig. 4*) manchonné fou sur l'axe de l'arbre et qui est

Fig. 4.

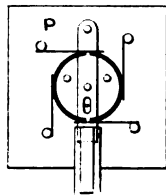
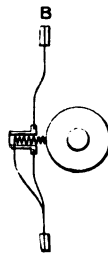


Fig. 5.



susceptible d'un déplacement angulaire qui change les segments sur lesquels appuient quatre petits balais fixes reliés d'une manière convenable à la dynamo et aux accumulateurs.

» Il n'y a qu'une seule batterie d'accumulateurs réunie directement avec la dynamo et reliée aux lampes par l'intermédiaire d'une résistance d'absorption R (*fig. 1*), de valeur fixe, qui est mise en court-circuit au moment de l'arrêt par la manœuvre du relai disjoncteur.

» Le réglage de la force électromotrice de la dynamo est obtenu concurremment, par un enroulement inducteur inverse de la dynamo intercalé en série dans le circuit général de débit de la machine, et par un décalage de la prise de courant produit par la force centrifuge; tandis qu'au London Brighton ce sont les balais qui se déplacent par rapport au collecteur, ici les balais restent fixes, et c'est l'ensemble des demi-collecteurs qui subit un déplacement angulaire par rapport aux bobines induites (voir *fig. 3*); pour rendre ce déplacement possible, les bobines, au nombre de huit seulement,

sont reliées aux touches des demi-collecteurs par des fils souples. La batterie d'accumulateurs sert, bien entendu, également de régulateur, parce que sa tension ne varie que très peu pour un courant de charge variant dans d'assez grandes limites. Mais, toutes choses égales d'ailleurs, la tension de cette batterie augmente avec la saturation des accumulateurs. La régulation, si elle n'agit pas en sens inverse de cette variation, comme au London Brighton, du moins n'en tient pas compte, puisque la résistance d'absorption R des lampes est invariable quelle que soit la saturation des éléments. Pratiquement, cette variation de tension ne se fait pas sentir d'une façon sensible aux lampes, parce qu'on règle comme au London Brighton la résistance d'absorption pour un état voisin de la saturation des accumulateurs, état dont ils ne s'écartent guère, étant donné qu'on peut laisser suffisamment les accumulateurs en charge pendant la période de jour. Un interrupteur S (*fig. 1*) permet, si on le désire, d'isoler la dynamo des accumulateurs pendant la marche de jour.

» Les dynamos sont abandonnées sans surveillance pendant les voyages; on les examine seulement une fois par jour en gare de King's Cross, où se trouve un petit atelier pour les réparations des pièces mécaniques et des accumulateurs. Au début, on se servait de balais en charbon qui s'usaient très vite, et dont le remplacement était très onéreux; la Compagnie a réalisé une économie sensible en remplaçant les balais en charbon par d'autres constitués par cinq feuilles de cuivre mince repliées en zigzag et pressées par une lame formant ressort, comme le montre la figure 5; ces balais élastiques sont construits à très bon marché par la Compagnie même et s'usent peu.

» La batterie d'accumulateurs est composée de 22 éléments de 300 ampères-heure, du type E.P.S., montés dans des bacs en bois doublé de plomb, placés sur deux étages dans un angle du fourgon; elle représente environ 7 heures d'éclairage pour un train de 11 voitures dont l'éclairage total est de 558 bougies. Les lampes à 40 volts de 16 bougies en première classe, et 10 bougies en deuxième et troisième classe, sont placées dans de petites coupes unies, munies de réflecteurs, et montées au plafond. La canalisation générale se compose simplement de câbles isolés, un peu souples, serrés sur des bornes vissées sur le haut de la toiture des voitures.

» *Chemins de fer de l'État autrichien (système Dick)*. — Cette Compagnie a mis en service, à titre d'essai, en décembre 1897, les appareils d'éclairage du système Dick sur un train de banlieue de 13 voitures, représentant au total 730 bougies, circulant entre la gare de l'Ouest de Vienne et Saint-Pölten, localité distante de 70^{km}.

» Lorsque j'ai visité cette installation, en 1898, la disposition des appareils était la suivante :

» Sous le châssis d'un fourgon était montée et commandée par engrenages, à la manière des moteurs de tramways, une dynamo de 10 chevaux à 120 volts. Tous les appareils de réglage étaient disposés dans une petite armoire fixée contre une paroi du fourgon.

» La conjonction et la disjonction étaient effectuées électriquement par le mouvement de balancier d'un double solénoïde dont l'armature en fourche venait plonger dans deux godets à mercure lorsque, la vitesse du train ayant atteint 20^{km}, la force électromotrice de la dynamo était arrivée à 125 volts.

» La force électromotrice de la dynamo était maintenue à peu très constante, et ne s'élevait pas au-dessus de 150 volts, à l'aide d'un régulateur qui introduisait des résistances variables dans l'excitation de la dynamo. Ce régulateur, analogue à l'appareil Zipernowsky, se composait d'un solénoïde dont le noyau plongeait plus ou moins dans un tube à mercure auquel aboutissaient les différentes sections du rhéostat.

» La dynamo était reliée à une canalisation principale à deux fils, s'étendant sur tout le train et comportant, entre les voitures, des accouplements formés par des fils souples terminés par des languettes s'engageant dans des pinces de forme différente pour chacun des pôles. Sous chaque voiture était disposée, dans un coffre, une petite batterie de 60 éléments de 25 ampères-heure, représentant 10 heures d'éclairage, à grandes pastilles du type de la Maison Wüste et Rupprecht de Vienne, qui construisait les appareils Dick. Toutes ces petites batteries étaient branchées en dérivation sur la canalisation principale.

» Ce qui distingue le système Dick des systèmes anglais, c'est qu'il comporte une résistance d'absorption disposée avant les accumulateurs, au lieu d'être placée entre les accumulateurs et les lampes. Cette résistance est calculée de façon que, pendant la période

d'éclairage, la tension de la canalisation, c'est-à-dire la tension appliquée aux accumulateurs, varie de 115 à 118 volts, lorsque la force électromotrice de la dynamo varie de 120 à 150 volts, se maintient la plus grande partie du temps à 118 volts, mais ne dépasse jamais 120 volts, de sorte que les accumulateurs fournissent un courant assez faible, mais sont toujours en décharge. Il en résulte que le réglage aux lampes est beaucoup plus parfait (j'ai constaté qu'il ne variait pas de plus de 2 volts sur 118 volts); les survoltages sont en effet impossibles; il ne peut se produire qu'une baisse de tension; mais avec cette disposition, les accumulateurs, ne recevant aucune charge pendant la période d'éclairage, devaient, dans l'installation primitive, être rechargés pendant le jour. A ce moment on enlevait presque complètement la résistance intercalée en avant des accumulateurs, de façon à donner à ceux-ci une tension variant de 122 à 150 volts. Afin d'empêcher la surcharge des accumulateurs pendant le jour, un limiteur de tension constitué par un relais agissait dès que cette tension aux bornes des accumulateurs atteignait 2,5 volts par élément et introduisait dans le circuit d'excitation de la dynamo une très forte résistance qui réduisait sa force électromotrice, de façon à ne plus avoir que 2,2 à 2,4 volts par élément. Dans un train de banlieue, comme celui des Pölten à Vienne, il y avait grandement le temps de recharger les accumulateurs pendant le jour, et les épuisements ne devaient pas être à craindre, à condition de régler le relais un peu haut, car il est probable, d'après une expérience analogue entreprise par Vicarino et dont il sera question plus loin, que ce relais ne peut fonctionner à une tension parfaitement déterminée. Cet essai a été abandonné après 2 ans de fonctionnement quoiqu'il « n'ait » donné lieu à aucun ennui, m'ont écrit les Ingénieurs de l'État autrichien, mais parce que toute réparation à faire sur le fourgon unique aménagé forçait à interrompre l'éclairage, et en raison de » l'indivisibilité du train ».

» Dans une brochure publiée en 1900 par la maison Wüste et Rupprecht, M. Dick, pour annuler l'objection d'un manque de charge possible des accumulateurs dans des trains ne circulant guère que le soir, a proposé de constituer, avec les batteries des voitures, 2 groupes d'accumulateurs distincts, dont l'un serait en

charge, pendant que l'autre servirait de régulateur. Le train est alors muni d'une canalisation à 3 fils formant 2 circuits avec pôle négatif commun et sur les positifs desquels sont branchées successivement les batteries de voitures qui s'étendent d'un bout à l'autre du train (un voyant rouge ou noir indique le circuit dans lequel une voiture est intercalée). On réalise ainsi un montage analogue à celui employé dans le système Stone. La batterie A, reliée directement à la dynamo, reçoit les 125 à 150 volts de la dynamo, tandis que la batterie B est branchée en dérivation sur la dynamo avec interposition d'une résistance telle, d'après M. Dick, qu'elle ne reçoive, comme dans la disposition à une seule batterie, aucun courant de charge et fournisse au contraire un léger courant de décharge pendant toute la période d'allumage. Pendant les arrêts les deux batteries A et B sont réunies en parallèle sur les lampes, avec mise en court-circuit de la résistance d'absorption. Un relais empêche comme précédemment la surcharge, en réduisant la tension aux bornes de la batterie en charge de 2,5 volts à 2,2 ou 2,4 volts. Ici le relais n'a pas besoin d'être réglé d'une façon aussi précise, puisqu'on a moins à craindre l'épuisement de la batterie en charge. On intervertit tous les jours, à l'aide d'un commutateur à main, les batteries A et B. Si le réglage est établi de cette manière, il ne se produit pas de survoltages et, quand il s'agit d'un train de banlieue, on n'a pas à craindre non plus l'épuisement des batteries, parce que pendant le jour on a le temps de recharger les deux batteries branchées toutes deux sans résistance à la dynamo.

» Je ne trouve pas rationnelle la disposition adoptée dans le système Dick et qui consiste à placer sur chaque voiture une petite batterie. Puisqu'on s'astreint à l'intercommunication entre les voitures pour la conduite générale, il est inutile de diviser les accumulateurs en très petites batteries qui, au total, sont plus coûteuses et plus difficiles à surveiller qu'une batterie unique équivalente.

» *Applications diverses.* — La Compagnie de l'Ouest français va monter sur un train l'éclairage électrique à l'aide de deux équipements Vicarino grand modèle DV3 à simple batterie (dont la description sera donnée plus loin) et de deux petites batteries qui

seront placées dans les deux fourgons. Les deux groupes générateurs desserviront deux canalisations distinctes dans les voitures, comme aux chemins de fer danois, avec un double accouplement par languettes et fils souples entre les voitures. On pourra de la sorte, sans interrompre la lumière, couper le train en deux pour y intercaler, par exemple, une voiture non appareillée sur laquelle on attachera des câbles volants, ou simplement pour permettre la traversée des voies pendant les arrêts dans une gare importante. Mais les cas où l'on a des coupures à pratiquer sur des trains en fonctionnement n'est guère à prévoir sur les lignes de banlieue où le système est le plus indiqué.

» La Société des accumulateurs Böse a, paraît-il, réalisé, à l'aide d'équipements Stone, l'éclairage d'un ou deux petits trains de chemins de fer locaux allemands.

» *Observations générales.* — Les systèmes d'éclairage des trains entiers par une ou deux dynamos, recevant le mouvement de l'essieu, s'ils n'ont guère pénétré jusqu'ici que dans deux Compagnies, sont pourtant appliqués sur un nombre relativement grand de véhicules. Le fait qu'ils ont été conservés, après plus de 15 ans d'exploitation, indique bien qu'ils sont réellement avantageux pour les trains de banlieue. Il ne faut guère songer, en effet, à les appliquer sur les grands parcours, où l'indivisibilité des trains et la spécialisation du matériel constituent une gêne d'exploitation très grande; mais sur les lignes de banlieue, ces deux sujétions peuvent être acceptées, puisque, si elles étaient vraiment inadmissibles, les Compagnies anglaises ne les auraient pas conservées si longtemps; elles se retrouvent d'ailleurs dans les systèmes de chauffage à vapeur adoptés dans beaucoup de Compagnies du continent sur une partie seulement de leur matériel. Je crois donc que si les systèmes de cette classe ne se sont pas développés ailleurs qu'en Angleterre, c'est parce que, sur le continent, l'organisation des Compagnies de chemins de fer est différente et ne réunit pas, comme en Grande-Bretagne, en la seule main du *General Manager*, la direction effective de tous les services, dont la coordination est alors facile. Ces systèmes, s'ils ont quelques inconvénients, présentent, par contre, des avantages sérieux : ils sont beaucoup plus économiques et plus commodes

que les systèmes par batteries indépendantes; la dépense d'acquisition et aussi d'entretien d'accumulateurs est beaucoup moins forte, puisqu'il suffit d'emmagasiner 7 à 9 heures d'éclairage au lieu de 20 au minimum et que les accumulateurs, au lieu d'être disséminés en une série de petites batteries, peuvent être réunis en une grosse batterie. Ils sont également plus avantageux que les systèmes auto-générateurs placés sur chaque voiture, puisque les organes qui demandent de la surveillance, c'est-à-dire la dynamo et les appareils d'enclenchement et de régulation, sont en nombre beaucoup plus réduit. Ces organes pourraient d'ailleurs être rendus plus simples et plus robustes, dans l'état des connaissances actuelles, qu'ils ne le sont dans les systèmes très anciens du London Brighton et du Great Northern.

» Si l'on fait usage de dynamos recevant leur mouvement d'un essieu, il est, à mon avis, plus facile d'assurer la régularité de fonctionnement, dans le cas où l'on éclaire en bloc un train entier, que si l'on fait le montage sur des voitures isolées. Les trains-blocs éclairés étant, en effet, des trains de banlieue, ont des roulements invariables et semblables pour tous, qui permettent de marcher avec un réglage déterminé une fois pour toutes (soit avec les accumulateurs à la saturation pour les systèmes anglais, soit avec les éléments toujours en décharge pour le système Dick) et d'obtenir, comme il a été expliqué plus haut, des variations de lumière peu importantes entre l'arrêt et la pleine vitesse, et d'un jour à l'autre, avec des systèmes à une seule batterie; on n'a guère à craindre, non plus, les épuisements d'accumulateurs, parce que les trains de banlieue ont toujours des parcours de jour importants, pendant lesquels on a le temps de recharger la batterie. Nous verrons plus loin qu'il n'en est pas de même dans les systèmes auto-générateurs par voitures isolées, en raison de leur utilisation variable.

d. L'ÉNERGIE EST PRODUITE PAR UN MOTEUR SPÉCIAL.

Δ₁ avec le secours d'accumulateurs.

» Un premier essai, non suivi d'applications, a été effectué, en 1884, sur un train du *Great Eastern Railway* dans lequel on avait placé, sur la locomotive, un moteur à vapeur à grande vitesse

Tower empruntant la vapeur à la chaudière, et, dans le fourgon, une batterie d'accumulateurs.

» Vers 1885, le train impérial russe et, je crois, aussi le train impérial autrichien ont été éclairés à l'aide d'une sorte d'usine disposée dans un fourgon et comprenant une chaudière à vapeur spéciale, un moteur Brotherhood, une dynamo et une batterie d'accumulateurs. Il y a, bien entendu, un personnel spécial dans le fourgon pour la conduite de l'éclairage électrique.

» Des essais ont été entrepris, vers 1887, en Amérique, par la Compagnie Pullmann, le Connecticut Railroad, le Chicago-Milwaukee Railway et quelques autres Compagnies, sur des trains de grand parcours où l'on a placé, dans un fourgon, un moteur à vapeur à grande vitesse prenant la vapeur sur la locomotive, une dynamo et une batterie d'accumulateurs. Des systèmes de ce genre sont encore employés en Amérique, mais, je crois, seulement sur quelques trains de luxe qui peuvent être accompagnés par un agent du fourgon capable de faire fonctionner les appareils électriques.

» Les systèmes de cette catégorie présentent, au point de vue des dépenses d'aménagement et d'entretien, les mêmes avantages que ceux de la classe c, mais plus accentués, puisque la vitesse de la dynamo restant à peu près constante, il n'y a pas à prévoir les organes un peu délicats de conjonction et de régulation de la dynamo. En revanche, une dynamo commandée par l'essieu peut être abandonnée à elle-même, tandis qu'il faut un agent spécial pour mettre en marche et surveiller un moteur à vapeur quand il est placé dans le fourgon; la dépense notable qui en résulte fait perdre les avantages économiques du système, qui devient le plus onéreux de tous les systèmes électriques. Il est vrai que cette considération n'a pas d'importance pour des trains impériaux.

» La dépense de surveillance disparaît si le moteur à vapeur peut être placé sur la locomotive et conduit par le mécanicien. Ce procédé n'a pourtant été essayé qu'une seule fois. Si l'on n'a pas poursuivi les recherches dans cette voie, c'est probablement parce que l'on a pensé qu'il serait difficile de trouver, sur une locomotive, la place suffisante pour loger un moteur et une dynamo de puissance convenable. La Société française Laval avait bien proposé, il y a

2 ou 3 ans, aux Compagnies françaises, un groupe turbine-dynamo de 10 chevaux, de dimensions assez réduites pour remplir ces conditions, mais ce projet n'a pas été bien accueilli à cause de la grande consommation de vapeur de ce groupe, au moins 28^{kg} de vapeur par cheval effectif, d'après les essais effectués sur les fourgons du Transsibérien.

Δ, sans accumulateurs.

» Des essais ont été exécutés en 1883 sur la ligne de Munich à Starnberg et en 1889 sur le Métropolitain de Londres, en plaçant dans un fourgon une petite chaudière, un moteur à vapeur et une dynamo; ils ont été peu satisfaisants et ont été abandonnés, probablement parce que les appareils étaient rudimentaires et peu étudiés.

» Je sais, par les Ingénieurs des wagons-lits, que le système est appliqué en Russie sur un certain nombre de grands trains. Il est également appliqué sur tous les trains du Transsibérien, dont on pouvait voir un spécimen à Paris, en 1900, à l'Exposition. Dans un fourgon, contenant quelques resserres et quelquefois une cuisine, est installé un groupe générateur d'électricité, composé d'une chaudière genre Field, système Schoukkoff, chauffée au bois, volumineuse mais robuste, une turbine Laval de 10 chevaux et une dynamo pouvant donner 110 volts et 35 ampères. Le combustible ne coûtant rien, une consommation élevée de vapeur n'offre aucun inconvénient et la conduite de l'installation ne cause pas une grande dépense supplémentaire parce que, dans les trains de ce genre qui sont toujours accompagnés par un personnel assez nombreux, le mécanicien est chargé de diverses réparations du matériel.

» On a proposé dans ces derniers temps, et le système serait, d'après le Rapport au Congrès des Chemins de fer, appliqué sur un certain nombre de trains du Cap, d'actionner la dynamo par un moteur à pétrole placé dans un fourgon. Mais ces moteurs demandent à être surveillés attentivement car ils se dérèglent facilement; le réservoir d'essence constitue en outre un danger d'incendie assez grand.

» Si l'on admet une chaudière spéciale ou un moteur à pétrole dans le fourgon, le système, malgré sa simplicité, plus grande

encore que dans la classe Δ_1 ne paraît pas susceptible de grandes applications parce que l'obligation d'avoir un mécanicien spécial dans le fourgon le rend trop onéreux.

» Le système pourrait toutefois, à mon avis, recevoir de nombreuses applications en le limitant aux trains de banlieue ou de petites lignes, et ils sont nombreux, qui effectuent leur voyage complet sans changer de machine. On pourrait en effet, dans ces conditions spéciales, placer un moteur à vapeur et une dynamo sur la locomotive même, qui fournirait la vapeur. L'absence de générateur de vapeur ou de moteur à pétrole rendrait inutile la présence d'un agent spécial de surveillance : le mécanicien pourrait, sans difficulté, jeter un coup d'œil sur les machines pendant les arrêts ; ce procédé est certainement celui qui donnerait le prix de revient le plus bas de l'éclairage électrique. Le projet est parfaitement réalisable, sans même avoir recours aux turbines à vapeur, dont la consommation de vapeur est considérable pour les petites puissances. La maison Chaligny, par exemple, avait proposé à la Compagnie des wagons-lits, pour l'équipement des fourgons du Transsibérien, un groupe, moteur-pilon compound et dynamo commandée par courroie, qui avait à peu près le même encombrement que le groupe turbine Laval-dynamo. Ce constructeur m'a montré l'avant-projet d'un groupe électrogène de 6000 watts composé avec une dynamo d'un type quelconque tournant à 1200 tours, logée dans le bâti d'un moteur compound de 10 chevaux effectifs, à la pression de $8^{\text{kg}},5$ et à la vitesse angulaire de 400 tours par minute, d'un type absolument courant, dont il a livré plus de 200 exemplaires pour canots de la marine française et pour lequel il garantit une consommation de 12^{kg} au maximum par cheval effectif, et une variation de vitesse inférieure à 5 pour 100. L'engrenage serait logé dans un carter rempli de graisse consistante et le tout, enveloppé dans une chemise en tôle, pourrait, je crois, trouver place sur presque toutes les machines de trains omnibus, car les dimensions d'encombrement ne seraient que de $0^{\text{m}},80 \times 0^{\text{m}},75$ sur $1^{\text{m}},30$ de haut, c'est-à-dire inférieures à celles d'un groupe turbine Laval-dynamo de 10 chevaux ; le poids du moteur n'étant que de 225^{kg} le groupe pèserait au total environ 500^{kg} . Il serait facile de parer à la difficulté résultant de ce que les locomotives, dans les grandes gares de Paris,

ne peuvent souvent être attelées que 5 minutes avant le départ du train, à l'aide d'un artifice analogue à celui qui a été employé pour le chauffage des trains par la vapeur de la machine, sur la banlieue de l'Est; en attendant l'arrivée de la locomotive, les trains déjà formés pourraient être éclairés facilement par un branchement pris sur la canalisation d'éclairage du quai.

» Tous les systèmes dans lesquels le courant nécessaire à tout le train est produit par un ou deux groupes générateurs (classe III) obligent à placer une conduite générale avec accouplements entre les voitures, qui entraîne à des sujétions indiquées en détail pour les systèmes de la catégorie c. Ces systèmes sont donc peu pratiques pour les trains de grande ligne à composition variable.

» C'est en vue de l'éclairage de ces trains qu'ont été imaginés les *systèmes comportant une dynamo sur chaque voiture*, qui forment la IV^e et dernière classe, et qui seront examinés dans le prochain *Bulletin*. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Jacquin.

TÉLÉTACHYMÈTRE ÉLECTRIQUE.

M. ED. HOSPITALIER. — « Le procédé le plus simple employé jusqu'ici pour transmettre à distance l'indication de la vitesse angulaire d'un axe tournant consiste à disposer, sur cet axe, une petite magnéto et à relier son induit à un voltmètre. La force électromotrice développée par la magnéto étant proportionnelle à la vitesse angulaire de l'induit, les indications du voltmètre sont elles-mêmes proportionnelles à cette vitesse angulaire.

» Le tachymètre ainsi constitué exige un étalonnage préalable fait sur la résistance de la ligne reliant la magnéto au voltmètre, ainsi que l'installation, pas toujours commode ni même possible, de la magnéto.

» On peut également constituer un tachymètre sensible absolu, et dont les indications sont pratiquement indépendantes de la distance, en utilisant le courant de charge ou de décharge d'un condensateur.

» Un condensateur de capacité C est alternativement mis en charge sur une pile ou un accumulateur de force électromotrice E et mis en décharge sur un voltmètre à cadre mobile très amorti, à l'aide d'un contact oscillant commandé par l'arbre dont on veut déterminer la vitesse angulaire. Chaque décharge du condensateur fait passer dans le cadre du galvanomètre une quantité d'électricité $Q = CE$, et si ω est la fréquence des charges et décharges, le courant moyen a pour valeur

$$I_{\text{moy}} = \omega CE.$$

» La déviation du voltmètre dont on connaît la constante donne la valeur de ce courant moyen, C est la capacité du condensateur et E la force électromotrice de la source, valeurs préalablement déterminées; on en déduit donc

$$\omega = \frac{I_{\text{moy}}}{CE}.$$

» L'appareil fonctionne régulièrement et donne des indications

proportionnelles jusqu'à 30 à 40 décharges par seconde environ. A des fréquences plus grandes, l'impédance du cadre empêche le condensateur de se décharger complètement et l'appareil retarde.

» On peut remédier facilement à cet inconvénient en modifiant convenablement les constantes galvanométriques du cadre, ce que nous nous proposons de faire dans des expériences ultérieures. En effet, dans le premier appareil que nous avons expérimenté, la déviation maxima du voltmètre, qui a 600 ohms de résistance pour 3 volts, correspond à une intensité de 0,005 ampère, soit 5000 microcoulombs par seconde. En supposant une fréquence maxima de 50 périodes par seconde, fréquence qu'il serait d'ailleurs difficile de dépasser pratiquement, chaque décharge correspond à 100 microcoulombs, ou, en vertu de la relation $Q = CE$, à 100 volts-microfarad.

» La méthode exige donc, soit une grande capacité, soit une grande force électromotrice, pour que le produit CE atteigne une valeur suffisante. Cela ne présente aucune difficulté dans un laboratoire scientifique ou industriel, ni même pour une automobile électrique, sur laquelle on dispose de 80 volts, mais l'application en serait peu pratique pour une automobile à essence de pétrole ou à alcool, sur laquelle on ne dispose que des 4 volts fournis par les deux accumulateurs d'allumage couplés en tension. Nous avons tourné la difficulté de la façon suivante :

» Le système à contacts ferme périodiquement le circuit des accumulateurs sur le circuit primaire d'un transformateur minuscule dont le circuit secondaire est relié au voltmètre, mais la liaison du voltmètre et du circuit induit du transformateur n'est pas permanente : elle s'établit, pour chaque période, *un peu avant* la fermeture du circuit primaire, et se rompt également *un peu avant* la rupture du circuit primaire. Grâce à cet artifice, le cadre galvanométrique ne reçoit que les impulsions dues aux courants induits de fermeture, et fournit une déviation proportionnelle au courant moyen, c'est-à-dire à la vitesse angulaire de l'arbre qui commande les contacts.

» En proportionnant convenablement les circuits du transformateur et la résistance du circuit galvanométrique, on règle la sensibilité à volonté. Pour ce dispositif, nous remplaçons la rainure sinueuse et le levier oscillant par un commutateur cylindrique con-

venablement découpé sur lequel viennent frotter des balais fixes. L'installation de tout le système sur le bout d'arbre libre d'un appareil tournant ne présente aucune difficulté, et la sensibilité se règle facilement en introduisant des résistances dans le circuit inducteur ou le circuit induit. Nous utilisons le courant induit de *fermeture*, dont la durée est plus longue, afin d'obtenir des impulsions moins brutales et une plus grande fixité de l'aiguille du voltmètre aux faibles vitesses angulaires. L'appareil que nous faisons fonctionner sous les yeux de la Société comporte, comme transformateur, une simple bobine téléphonique. L'appareil indicateur est un voltmètre de 5 volts de la *Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz*. Le voltmètre sert ainsi à indiquer à la fois la tension de la source électrique et la vitesse angulaire, et permet de régler les indications si cette source venait à faiblir, par l'intercalation d'une résistance convenable dans le circuit inducteur ou induit. La graduation est telle que chaque division corresponde à $\frac{1}{10}$ de volt ou à 1 tour par seconde. »

**SUR LA REPRÉSENTATION MATÉRIELLE DES FONCTIONS A TROIS VARIABLES
PAR DES GRAPHIQUES A TROIS DIMENSIONS.**

M. ED. HOSPITALIER. — « Un grand nombre de phénomènes électriques sont fonction de trois variables importantes, et la complexité de la fonction qui relie ces trois variables ne permet pas de suivre facilement les rapports respectifs de leurs grandeurs. Il nous a donc semblé intéressant de signaler ici les moyens dont on dispose pour rendre leurs relations facilement saisissables, soit dans un but d'enseignement technique, soit, au point de vue industriel, dans le but de déterminer rationnellement les valeurs à donner à celle des variables sur laquelle on ne peut agir que par variations finies, que l'on a tout intérêt à répartir le plus judicieusement possible, afin d'éviter des à-coups ou des modifications inutilement trop lentes.

» Le moyen le plus employé jusqu'ici consiste à tracer, en coordonnées cartésiennes, une série de courbes en fonction de deux variables, pour certaines valeurs déterminées de la troisième variable, et de tracer toutes ces courbes sur un plan, avec un système de coordonnées communes.

» Ce procédé est suffisant lorsque les courbes sont de forme simple et ne se coupent pas : si elles se coupent, la lecture devient difficile, et quelquefois même impossible. C'est ce qui arrive, par exemple, lorsqu'on veut suivre les variations de la charge ou de la décharge oscillante d'un condensateur en faisant varier l'amortissement jusques et au delà du point critique correspondant à la limite des décharges oscillantes.

» Le plus simple, dans ce cas, consiste à tracer une série de diagrammes successifs en les disposant les uns à la suite des autres, ou les uns sous les autres, mais il est difficile de se faire une idée de la modification continue du phénomène dans le cas où l'amortissement varie d'une façon continue. On se trouve ainsi conduit à donner du *relief* à ces courbes, soit en les projetant en perspective (cavalière

ou isométrique), soit en les disposant réellement dans l'espace dans les plans qu'elles doivent y occuper.

» Les courbes représentées en perspective donnent bien une idée générale des variations du phénomène, mais les déformations de coordonnées nécessitées par les projections modifient les relations de leurs grandeurs relatives : c'est ainsi, par exemple, que l'intersection de deux courbes successives ne correspond pas à l'égalité des variables.

» On ne peut se faire une idée nette, exacte et rigoureuse des relations qu'en construisant ces courbes dans l'espace. C'est ce que nous avons fait, avec le concours des élèves de l'*École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris*, pour l'étude des variations du couple des moteurs asynchrones à courants alternatifs simples ou polyphasés en fonction de la vitesse angulaire du rotor (de la valeur zéro au synchronisme), et de la résistance du rotor (depuis la valeur zéro jusqu'à celle où le couple n'a plus une valeur suffisante), dans l'hypothèse d'un champ alternatif ou tournant de grandeur maxima ou moyenne constante, et d'une self-induction du rotor également constante.

» On peut réaliser ces courbes de plusieurs façons :

- » 1° En les découpant sur une feuille de carton ;
- » 2° En les découpant sur une feuille de verre ou de celluloid transparent ;
- » 3° En les constituant à l'aide d'un fil de fer cintré à la pince sur la courbe préalablement tracée.

» Après avoir essayé les trois procédés, nous avons reconnu que le troisième est le plus pratique, le plus économique et le plus frappant, et celui qui mérite d'être recommandé aux professeurs pour rendre tangibles des phénomènes dont les variations présentent une certaine complexité.

» Parmi les phénomènes électriques auxquels ce mode de reproduction serait le plus utilement applicable, nous signalerons les suivants, dont nous poursuivons actuellement la réalisation :

» Variation de l'excitation d'un alternateur à tension constante en fonction du courant et du déphasage de ce courant sur la tension ;

» Variation du courant primaire d'un transformateur en fonction de la charge et du déphasage;

» Variation de la forme du courant primaire d'un transformateur en fonction de la charge, etc. »

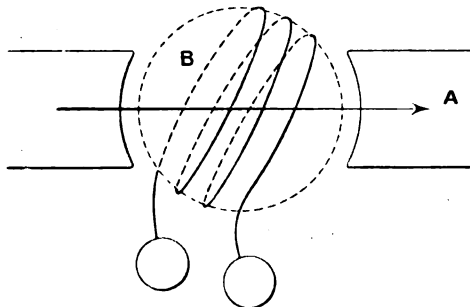
M. le PRÉSIDENT remercie M. Hospitalier.

ALTERNATEURS A COLLECTEUR.

M. MARIUS LATOUR. — « Les machines électriques les plus simples sont les machines dites *unipolaires* dont le disque de Faraday est, comme on sait, le type le plus primitif. Ces machines donnent rigoureusement du courant continu. (Le courant continu ne correspond donc pas, en Électrodynamique, à une conception seulement théorique.) Mais l'énergie débitée par ces machines ne peut pas être manipulée industriellement, en quelque sorte, en ce sens que ces machines ne sont susceptibles de fournir de l'énergie électrique que sous de très basses tensions.

» Industriellement, on a recours à des machines d'un autre type dans lesquelles on peut multiplier les effets d'induction dans un même circuit en mettant, sans contact glissant, plusieurs conducteurs en série. Une bobine B se déplace dans un champ magné-

Fig. 1.



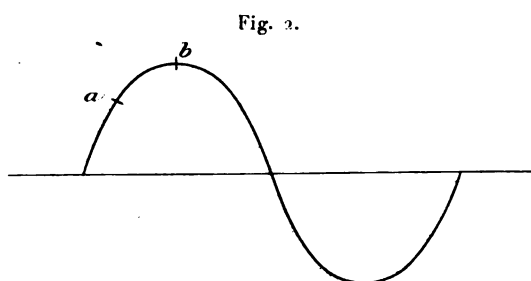
tique A (fig. 1). Comme on sait, c'est le courant alternatif qui se présente alors immédiatement.

» Quoi qu'il en soit de la supériorité du courant alternatif sur le courant continu, il n'en est pas moins vrai que le courant alternatif ne se suffit pas à lui-même tant qu'on n'a pas recours à des condensateurs. C'est un point sur lequel je reviendrai plus loin. Il en résulte que le problème général du *redressement* du courant naturellement fourni par les machines électriques constitue, en réalité, le problème fondamental de l'Électrotechnique. C'est à la

solution de ce problème que l'ingéniosité des inventeurs a eu, maintes fois, l'occasion de s'appliquer.

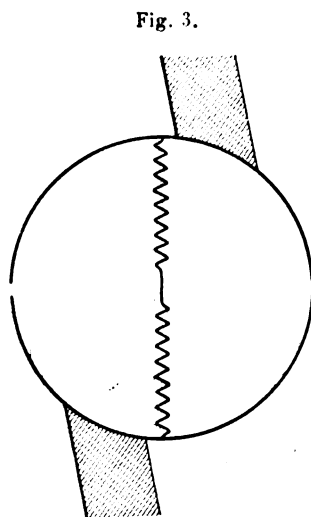
» Étant donnée la forme naturellement ondulatoire d'un courant (*fig. 2*), un circuit donné sera traversé par un courant *redressé*, si c'est toujours le même arc *ab* de l'onde qui se reproduit dans ce circuit.

» Considérons une machine simple (*fig. 1*) portant une bobine sur l'induit et débitant un courant alternatif *i*, par deux bagues,



sur une résistance *non inductive* *R*. A un certain moment de la période, le courant *i* s'annule et, à ce même moment, les deux bagues sont au même potentiel, car *iR* est alors égal à 0.

» Avec un commutateur à deux lames (*fig. 3*), on peut habile-



ment effectuer le redressement du courant, à cet instant précis, en intervertissant les connexions avec la résistance extérieure *R*, sans

apporter rigoureusement aucun trouble. On aura, dans la résistance R , la constante reproduction de la partie supérieure de l'onde, par exemple, tandis que le courant restera alternatif dans la bobine induite.

» Supposons maintenant que l'alternateur simple débite par ses bagues, sur un circuit de résistance R et de coefficient de self-induction L . Le courant s'annule bien encore à un instant donné de la période, mais, à ce même moment, la différence de potentiel entre les deux bagues

$$v = iR + L \frac{di}{dt}$$

n'est plus nulle. Le redressement apportera donc alors nécessairement des perturbations et il n'y aura plus aucun moment favorable pour cette opération. Les étincelles seront inévitables.

» Il est facile de voir que les machines avec collecteur simple devraient être mises en phase comme les alternateurs et qu'il y aurait des difficultés pour l'entretien d'une bonne marche en parallèle. Ces machines n'ont aucune valeur industrielle.

» Pour atteindre la forme continue du courant, il faut, en réalité, que l'arc d'onde redressé soit bien plus petit qu'une demi-onde. Théoriquement, il devrait être infiniment petit.

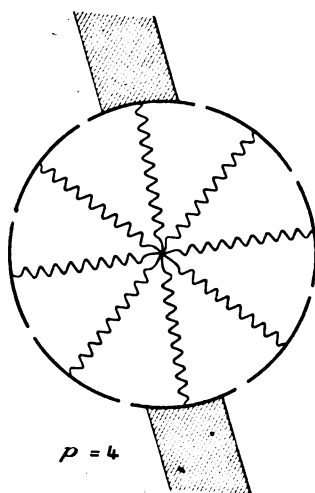
Imaginons qu'au lieu d'une bobine l'induit porte p bobines décalées de $\frac{\pi}{p}$, les unes par rapport aux autres (*fig. 4*). Les extrémités d'une même bobine seront toujours reliées à deux lames diamétralement opposées; mais ces lames, au lieu de s'étendre sur une demi-circonférence comme dans un collecteur simple, s'étendront seulement sur un arc égal à $\frac{\pi}{p}$.

» En disposant toujours deux balais à 180° , on voit que les diverses bobines entreront successivement en service en passant sous les balais et que chaque bobine travaillera pendant un temps $\frac{1}{p}$ de la période, le débit passant de la bobine qui précède à celle qui suit. L'arc d'onde redressé pourra devenir très court, si l'on emploie un nombre suffisant de bobines.

» On peut, sans inconvénient, relier ensemble les milieux de ces bobines. On a alors un montage *en étoile* des sections induites. Ce

montage correspond aux dynamos dites à *circuit ouvert*. Ces dynamos utilisent mal la matière, puisqu'une section n'est en service que pendant un temps $\frac{1}{p}$ de la période. En admettant qu'on profite de ce fait pour faire travailler le cuivre à une plus forte densité, on se

Fig. 4.



rend facilement compte que, à échauffement égal des conducteurs, la puissance spécifique des induits de ces machines ne serait que $\frac{1}{\sqrt{p}}$ des induits à une seule bobine.

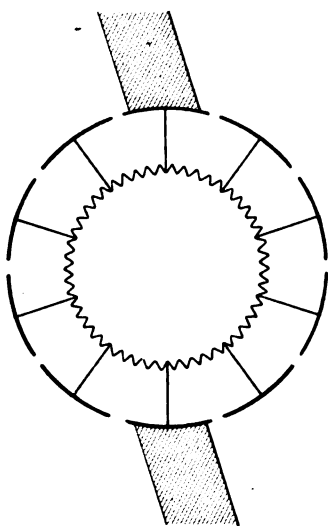
» On ne peut donc pas songer à faire p très grand : les grands sectionnements sont économiquement interdits.

» Mais on peut monter les sections induites *en polygone* entre les lames (*fig. 5*), de façon que les sections soient maintenues en service toutes à la fois. On aboutit alors aux dynamos modernes dites à *circuit fermé*.

» On appelle *commutation*, dans les dynamos à plusieurs bobines, la variation de courant qui se produit dans les sections lorsqu'elles passent sous les balais. La commutation s'opérera comme si les lames du collecteur correspondaient aux touches successives d'un rhéostat non inductif, si l'on cale les balais de telle façon que les sections en court-circuit soient soustraites à tout phénomène d'induction. Ceci revient à dire qu'il faut caler les balais de telle façon que

les sections soient mises en court-circuit dans une région *vraiment neutre*. Le flux qui traverse la bobine à son entrée dans le court-circuit, φ_1 , étant le même que celui qui la traverse à sa sortie, φ_2 , la force électromotrice induite $\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\tau}$ (τ étant la durée du court-circuit) sera bien nulle. La self-induction propre de la bobine n'a plus à intervenir après qu'on a parlé de région vraiment neutre. Il est bien entendu que le flux φ_1 comprenait déjà le flux propre à la

Fig. 5.



bobine avant son entrée dans le court-circuit, de même que le flux φ_2 comprendra la valeur de ce flux changé de signe.

» Le calage des balais sur la ligne vraiment neutre peut toujours être établi *dans une dynamo à excitation séparée* débitant sur une certaine résistance.

» Considérons un induit de dynamo lisse, denté ou à trous. (Nous prendrons un induit Gramme pour fixer les idées.) Faisons débiter, à cet induit, du courant alternatif par deux bagues reliées à deux points diamétralement opposés de l'enroulement, sur une résistance non inductive R . La force électromotrice développée dans le circuit par le champ inducteur de la dynamo, force électromotrice qui n'aura certainement pas une forme sinusoïdale, est maxima quand la ligne des prises de courant sur l'induit passe à 90° de la ligne des pôles. Le courant, qui peut avoir une forme quelconque,

différente d'ailleurs de celle de la force électromotrice, prend sa valeur maxima $I_{\max}$, un peu après, alors que la ligne des prises de courant fait un angle φ avec la ligne perpendiculaire à la ligne des pôles. Cet angle φ mesure le décalage du courant sur la force électromotrice.

» Lorsque l'induit débitera, par son collecteur, du courant continu sur la même résistance R , on peut démontrer, *en toute rigueur*, que l'on aura une commutation parfaite si l'on cale les balais de telle façon que la ligne des balais fasse, avec la ligne perpendiculaire à la ligne des pôles, un angle $\theta = \varphi$. Le courant continu alors débité sera exactement $I_{\max}$.

» Pour un sectionnement suffisant, le collecteur, s'il est parfaitement bien tourné, se comportera aussi doucement qu'une bague, quelle que soit la nature des balais employés.

» L'usage du collecteur doit donc être envisagé comme un artifice destiné à permettre, en quelque sorte, de perpétuer l'instant du maximum. Le développement de courant rigoureusement continu procure en même temps la faculté de s'affranchir des constantes du circuit extérieur (self-induction ou capacité).

» Pour un calage parfait des balais, les lames, simultanément sous les balais correspondant à des extrémités de bobines se déplaçant dans une région vraiment neutre, sont au même potentiel. Comme, d'autre part, la masse du balai est une masse équipotentielle, il en résulte bien une densité de courant uniforme sous le balai, soit le fonctionnement du frotteur sur la bague. Le calage parfait, dans une dynamo à excitation séparée, varie essentiellement avec la résistance sur laquelle on ferme l'induit, c'est-à-dire avec la charge. En dehors de ce calage, on a des densités inégales sous le balai, des échauffements parasites, des étincelles. On améliore alors le fonctionnement en employant des balais en charbon.

» Ces considérations valent pour les dynamos à circuit ouvert. L'angle de calage parfait des balais serait défini dans les mêmes conditions. Il reste bien entendu que je suppose que la largeur des balais atteint au moins celui d'une lame entière.

» L'auto-excitation des dynamos se conçoit de deux manières :

» 1° *Auto-excitation par champ extérieur*. — Si, pour un sectionne-

ment parfait à excitation séparée, la tension d'excitation est égale à la tension développée entre balais, on peut supprimer la source auxiliaire sans altérer le fonctionnement primitif. La légère augmentation du débit de la machine n'apporterait en effet que des perturbations négligeables.

» 2° *Auto-excitation par réaction*. — Les balais étant décalés de façon à obtenir une réaction d'induit favorable, la machine peut s'exciter sans circuit magnétisant extérieur.

» Dans ce dernier cas, la commutation est pénible. Pour assurer alors une commutation encore parfaite (densité uniforme sous le balai), un dispositif signalé par M. Leblanc serait ici parfaitement adéquat. Ce dispositif consiste à placer des circuits entre lames, avec condensateurs. On conçoit que la capacité mise en jeu puisse contre-balancer exactement la self-induction des sections en court-circuit. L'extra-courant de rupture, pour parler un langage usuel, serait en quelque sorte éconduit dans les condensateurs. Les diverses sections de la dynamo débiteraient des courants déwattés dans les condensateurs.

» Dans une dynamo à courant continu, de construction et de fonctionnement parfaits (dans laquelle on doit s'interdire l'usage de tout artifice pour la commutation), on aurait seulement recours au premier mode d'auto-excitation. Mais, dans une dynamo ordinaire, à courant continu, l'auto-excitation participe, en réalité, de l'auto-excitation par champ extérieur et de l'auto-excitation par réaction d'induit, sinon favorable, du moins incomplète, en ce sens que l'on fait rarement coïncider la ligne des balais avec la ligne vraiment neutre. Il est même des dynamos pour lesquelles on ne peut, en aucune façon, établir cette coïncidence. Ce sont les dynamos à étincelles irréductibles.

» Ainsi donc, relativement au premier mode d'auto-excitation, il arrive que des dynamos sont auto-excitatrices *par défaut*; mais on conçoit qu'il pût y en avoir qui fussent auto-excitatrices *par excès*. La ligne des balais serait, normalement, au delà de la ligne vraiment neutre.

» Dans les moteurs, la question de l'auto-excitation ne se pose pas et c'est d'ailleurs une des raisons pour lesquelles on a plus facilement un bon fonctionnement.

» Nous avons vu que les condensateurs permettaient d'imaginer des dynamos à courant continu à fonctionnement parfait, sans champ extérieur. Les condensateurs permettent également de concevoir des alternateurs auto-exciteurs sans excitation extérieure. On connaît les travaux de M. Leblanc et de M. Boucherot à ce sujet.

» Malheureusement, les condensateurs industriels n'existent pas. On ne peut pas, en effet, réaliser, sans danger, de grandes capacités sous un faible volume, c'est-à-dire à bas prix. La raison en est, suivant la théorie de Maxwell, que les ondes électromagnétiques se propagent avec une rapidité extrême dans tous les diélectriques, ce qui revient à dire que le rapport entre les unités électrodynamiques et électrostatiques de quantité d'électricité est considérable et que, au surplus, il n'y a pas de substance ayant un pouvoir inducteur spécifique comparable à certaines perméabilités magnétiques. On remarquera d'ailleurs que, si l'on arrivait effectivement à produire de grandes capacités sous de faibles volumes, ce serait en soumettant les armatures des condensateurs à des efforts mécaniques qui paraîtraient en disproportion avec leur masse.

» Le condensateur à armatures semble donc condamné à rester dans le domaine de l'Électrostatique.

» Dans ces conditions, les machines à courants alternatifs ne sont pas des machines autonomes. Les alternateurs synchrones demandent, en effet, à être excités par une source étrangère de courant continu, et quant aux machines d'induction, elles empruntent leur flux aux inducteurs des alternateurs synchrones. On sait, en effet, que le débit en courants déwattés, occasionné par les machines d'induction ordinaires, a un effet démagnétisant sur les inducteurs des générateurs synchrones.

» Dans un réseau à courants alternatifs, il y a, en quelque sorte, un double transport d'énergie à envisager :

» 1° *Un transport d'énergie wattée.* — L'énergie prise par l'arbre de l'alternateur est dissipée dans le réseau sous forme de chaleur ou de travail;

» 2° *Un transport d'énergie magnétisante ou potentielle.* — Les ampères-tours inducteurs sont en partie distribués, en quelque sorte, dans les moteurs d'induction du réseau.

» Dans les installations actuelles, on peut dire que, en dernier ressort, l'excitation des machines est toujours produite avec du courant continu.

» En réalité, pour faire de l'auto-excitation, il faut, de façon plus ou moins détournée, *redresser* du courant. Le procédé qui peut immédiatement venir à l'esprit est celui du collecteur simple à deux lames. Mais, le courant étant redressé pour un circuit essentiellement inductif, à savoir un circuit d'excitation, les étincelles sont inéluctables, ainsi que je l'ai montré plus haut. La Compagnie Thomson-Houston dispose, pour les éviter, un shunt entre les deux lames. Ce shunt met l'enroulement d'excitation en court-circuit et amortit en même temps les oscillations du flux. Sans cet artifice, le fonctionnement serait absolument intolérable. Mais, malgré les dispositifs variables que l'on peut employer, il s'agit là d'un procédé de redressement assez primitif.

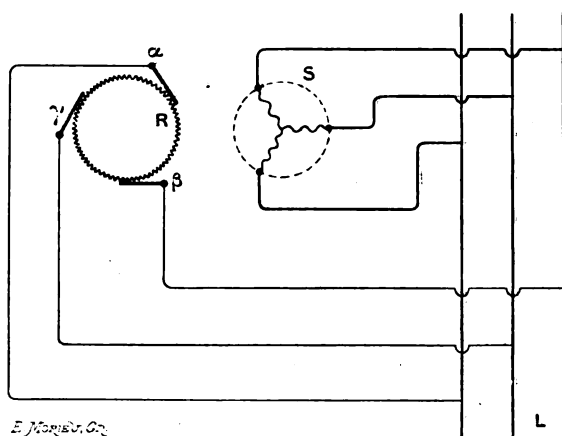
» Personnellement, j'ai eu l'idée d'appliquer, en toute connaissance de cause, le collecteur Gramme et les courants polyphasés à l'auto-excitation des machines à courants alternatifs. Nous allons voir que nous aurons alors un redressement parfait, en même temps que le collecteur supprimera ici, comme en courant continu, les difficultés de couplage entre les machines.

» Considérons un induit de dynamo bipolaire à courant continu, monté sur ses paliers et détaché du système inducteur qui l'entoure. Disposons, sur le collecteur de cet induit, p balais fixes, calés à $\frac{360^\circ}{p}$ les uns les autres. Si nous envoyons des courants polyphasés à p phases, de pulsation ω , par ces p balais, nous réalisons un champ tournant de vitesse angulaire ω .

» Lançons l'induit dans le sens de ce champ à la vitesse ω : l'impédance de l'induit par rapport à la source de courants polyphasés, quelle que soit l'intensité du champ, se réduit aussitôt à sa résistance ohmique, car il n'y a plus de force électromotrice de self-induction induite entre balais. Les lames du collecteur doivent donc être considérées, dans ces conditions, comme les touches successives d'un rhéostat non inductif. On remarquera immédiatement que le fer de l'induit, pour un synchronisme rigoureux, suivrait exactement le champ tournant. Il se développerait en conséquence

dés pôles nord et sud dans le fer. En somme, l'induit de dynamo tournant à la vitesse ω , dans les conditions indiquées, est entièrement l'équivalent d'un inducteur annulaire tournant à la vitesse ω . L'excitation en est faite avec des courants polyphasés, au lieu d'en être faite avec du courant continu. C'est cet inducteur que j'ai eu l'idée de disposer dans les alternateurs ordinaires. Je prends les courants d'excitation aux bornes de l'alternateur lui-même. Un alternateur est normalement constitué par un stator induit S et un rotor inducteur R (*fig. 6*).

Fig. 6.



» Il est à remarquer que la commutation est parfaite dès que le rotor tourne en synchronisme avec le champ de la machine. En effet, une section quelconque étant, à son entrée dans le court-circuit sous un balai quelconque, traversée par un certain flux, est, à la sortie de ce court-circuit, traversée par ce même flux. Il n'y a donc pas de force électromotrice induite dans les sections pendant leur court-circuit, et la commutation doit s'opérer comme dans une dynamo à courant continu lorsque les balais sont calés sur la ligne vraiment neutre, c'est-à-dire par le jeu naturel du déplacement relatif des balais et du collecteur.

» La disparition complète, au synchronisme, d'une tension entre balais étrangère à la chute ohmique, en même temps que la perfection absolue de la commutation à cette vitesse, suppose, en réalité, que le champ de la machine reste constant et uniforme. Mais, à vrai dire, il n'en est pas ainsi. Tout d'abord on sait que ce champ

a toujours des harmoniques. L'inducteur, dans la pratique, ne tournera pas d'ailleurs lui-même d'un mouvement uniforme : son mouvement aura des harmoniques qui lui seront propres. Toutes ces irrégularités occasionnent, dans la masse de l'inducteur, des variations de flux susceptibles de troubler la commutation. Il pourra y avoir enfin des vibrations provenant d'un sectionnement ou d'une denture insuffisants. Mais il existe un remède souverain contre toutes ces oscillations parasites : ce sont les amortisseurs Leblanc. M. Leblanc a déjà mis en évidence l'extinction générale des harmoniques de toute provenance, par l'emploi de ses amortisseurs : soit qu'il ait indiqué comment ils étouffaient les champs harmoniques dans les alternateurs, soit qu'il ait montré comment ils pouvaient parer aux vibrations parasites dues à un sectionnement insuffisant dans les dynamos à courant continu.

» *Les amortisseurs Leblanc se placent toujours évidemment sur la partie qui joue le rôle d'inducteur.* Étant seulement destinés, dans notre cas, à étouffer les harmoniques, il est certain que leur importance, par rapport à l'enroulement d'excitation, devrait dans tous les cas être *très faible* (5 à 10 pour 100 peut-être de celle de l'enroulement d'excitation). Cependant, avant d'avoir recours aux amortisseurs Leblanc, il convient de s'entourer de toutes les conditions électriques propres à atténuer les harmoniques et leurs effets.

» Tout d'abord, il convient de remarquer que l'enroulement d'excitation joue, lui-même, le rôle d'amortisseur par rapport aux harmoniques du champ. En effet, l'excitation de l'inducteur étant prise aux barres du réseau, il serait facile de s'assurer que la résistance et le coefficient de self-induction de l'enroulement d'excitation sont considérables par rapport à la résistance et au coefficient de self-induction de la source à laquelle est prélevée l'excitation. On doit donc, en somme, considérer l'enroulement d'excitation comme étant en court-circuit franc par l'intermédiaire de ses balais.

» Plus nous emploierons de phases pour l'excitation, plus nous nous rapprocherons de l'amortisseur parfait à nombre infini de phases, qui, comme on sait, est la cage d'écureuil préconisée par M. Leblanc.

» Mais il est intéressant de remarquer que la multiplication des phases est, à un autre point de vue, particulièrement avantageuse.

Supposons que le fil de l'enroulement soit traversé par un courant I . Avec des courants triphasés il faudra commuter $I\sqrt{3}$ par ligne de balais, avec des courants hexaphasés I seulement. Encore faut-il remarquer que, si l'on fait passer I dans l'enroulement avec des courants hexaphasés, il faudra, pour produire le même nombre d'ampères-tours, y faire passer $I\frac{2}{\sqrt{3}}$ en courants triphasés au lieu de I , de telle sorte que l'on aura bien deux fois moins à commuter par ligne de balais avec les courants hexaphasés.

» En multipliant le nombre de phases on a donc, *sans augmenter la surface frottante*, l'avantage remarquable de *diviser* les difficultés de la commutation.

» En fait, la multiplication des phases et l'utilisation du sectionnement normal de la dynamo à courant continu, combinées avec une étude soignée de la machine, permettront toujours un fonctionnement irréprochable. Ce ne sera que pour les inducteurs de construction inférieure, c'est-à-dire à faible sectionnement, et dans le cas d'une *forme particulièrement mauvaise des courants*, que l'on devra avoir recours à des artifices.

» Parmi ces artifices s'imposent évidemment, en première ligne, les amortisseurs Leblanc.

» Il convient de bien remarquer que les amortisseurs ne peuvent avoir d'autre objet que d'étouffer les harmoniques du champ de la machine. Si l'on travaille en dehors du synchronisme, le champ principal glisse sans doute dans l'inducteur lui-même et induit, dans les sections en court-circuit, des forces électromotrices capables de troubler la commutation, en y développant des courants spéciaux; mais on ne saurait prétendre éviter la formation de ces courants avec les amortisseurs. Il est bien évident, en effet, que les amortisseurs ne peuvent avoir pour objet d'étouffer le champ principal: il n'y aurait plus alors de machine possible. Les amortisseurs ne supprimeraient la formation, sous l'influence du glissement, d'extra-courants sous les balais, que dans la mesure où ils étoufferaient le champ de la machine, c'est-à-dire dans la mesure où ils détruiraient son fonctionnement même. Les amortisseurs auraient donc bien, pour unique effet technique, d'étouffer seulement les harmoniques.

» Mais, en réalité, les simples glissements du champ principal

sont *sans effet appréciable* sur la commutation. On sait d'ailleurs que l'on peut, sans inconvénient, dans les dynamos à courant continu, décaler légèrement les balais par rapport à la ligne vraiment neutre.

» La marche synchrone du rotor correspond à la marche *idéale* au point de vue de la commutation, en même temps qu'elle permet, dans le fonctionnement en génératrice, de fixer du magnétisme rémanent dans le rotor pour les auto-excitations futures. Aussi y a-t-il lieu de se tenir *le plus près possible* de la marche synchrone. C'est ce que je fais dans l'alternateur auto-exciteur de la figure 6.

» La marche synchrone se maintient grâce à un calage toujours convenable des balais. Considérons le fonctionnement à vide et en générateur. Imaginons que nous réalisions préalablement l'excitation séparée avec des courants de pulsation ω , le rotor tournant à la vitesse ω . L'excitation étant ainsi produite, il y aura certaines tensions induites aux bornes du stator. Pour que l'auto-excitation soit possible, il faudra d'abord, comme dans une dynamo à courant continu, que ces tensions aient la même grandeur que celles primitivement utilisées pour l'excitation. Mais cette simple égalité ne suffira plus ici : il faudra, en outre, que les tensions induites soient encore en phase avec les tensions d'excitation primitivement installées pour qu'on puisse les substituer les unes aux autres. Il est facile de concevoir comment cette coïncidence des phases s'établit par un calage judicieux des balais. La position du champ inducteur dans la masse de fer dépend, en effet, essentiellement, pour une phase absolue donnée des tensions d'excitation, du calage des balais. Si l'on avance, par exemple, le jeu des trois balais α, β, γ d'un angle α , le champ inducteur avance d'un angle α dans la masse de fer et la phase des tensions induites prend une avance équivalente dans le temps. Le phénomène contraire se produit si l'on recule les balais d'un certain angle.

» A vide, la phase de la différence de potentiel aux bornes est celle de la force électromotrice induite par le champ du rotor, mais en charge il n'en est plus ainsi : la différence de phase entre la différence de potentiel aux bornes et la force électromotrice dépend alors à la fois de la charge inductive et de la charge non inductive

de la machine. On conçoit donc que, pour entretenir la marche synchrone du rotor, il faudra modifier le calage des balais avec la charge. Cependant, si l'on n'effectue pas exactement ce réglage, il est bien certain que le débit ne s'évanouira pas. L'auto-excitation continuera à se produire, mais le synchronisme sera perdu.

» Cette nécessité de toucher au calage des balais, ou d'admettre un glissement variable transformant l'alternateur en une machine à fréquence variable, constitue en réalité une imperfection assez sérieuse. Heureusement, le compoundage de cet alternateur maintient automatiquement la marche synchrone avec un calage invariable des balais. Ce compoundage s'effectue à l'aide d'un simple transformateur compoundeur. Quelle que soit la charge inductive ou non inductive sur chacune des phases en particulier, l'alternateur reste à tension constante.

» Une propriété intéressante des machines à collecteur est qu'elles n'ont pas besoin d'être mises en phase.

» Étant donné un alternateur à excitation séparée, la phase des tensions induites aux bornes du stator peut, ainsi que je l'ai montré, être amenée à coïncider avec la phase des tensions d'excitation par un calage convenable des balais. Ce calage étant préalablement établi, supposons que l'on prenne l'excitation d'un alternateur sur un réseau donné. Les tensions induites aux bornes du stator seront automatiquement en phase avec les tensions du réseau, dès que l'alternateur sera entraîné à sa vitesse de régime. On pourra donc, sans danger, effectuer à ce moment le couplage avec le réseau comme pour une dynamo à courant continu.

» Un alternateur à collecteur n'est pas une machine d'induction ordinaire, puisque la caractéristique des machines d'induction est d'être à puissance nulle au synchronisme, mais un semblable alternateur n'en a pas moins tous les avantages de l'asynchronisme. C'est qu'en effet la position du champ inducteur n'est pas fixée pour toujours en direction dans le fer du rotor, comme dans une machine synchrone ordinaire.

» L'alternateur shunt de la figure 6 peut évidemment fonctionner en moteur à $\cos \varphi = 1$.

» J'ai dit que, dans cet alternateur, je calais les balais de façon à maintenir, le plus possible, la marche synchrone du rotor. C'est

reconnaître que je prévoyais parfaitement la marche en dehors du synchronisme, mais sans la conseiller. La marche synchrone n'a cependant évidemment rien d'obligatoire et, *bien qu'un glissement ne présente aucun intérêt*, on pourrait, dans la pratique, tolérer tout glissement acceptable au point de vue de la commutation. L'auto-excitation, d'ailleurs, n'est nullement liée, comme on pourrait le croire, à la marche sensiblement synchrone. Elle pourrait se produire *à toute vitesse* avec des glissements de plus de 100 et 200 pour 100, c'est-à-dire en dehors de toute notion de synchronisme. Mais il serait absolument impossible de se rendre alors maître de la commutation. En réalité, cependant, je m'étais exagéré les troubles que de simples glissements pouvaient apporter dans la commutation.

» Il est enfin à remarquer que la marche synchrone est une marche essentiellement stable. En effet, si, dans le cas du fonctionnement en moteur, par exemple, on passe à la marche en charge en laissant les balais calés pour la marche à vide, il s'introduit un *simple glissement*.

» Pratiquement, on pourra, par analogie avec ce qui se fait avec les dynamos à courant continu, caler uniformément les balais pour la marche en charge. A vide, le moteur tournerait alors très légèrement *au-dessus* du synchronisme et la marche synchrone correspondrait à la marche en charge. C'est le fonctionnement que j'adopterai.

» Le collecteur supprime ici tout danger de décrochage.

» En outre, comme l'enroulement d'excitation joue le rôle d'amortisseur parfait, on conçoit que tous les mouvements pendulaires soient évités.

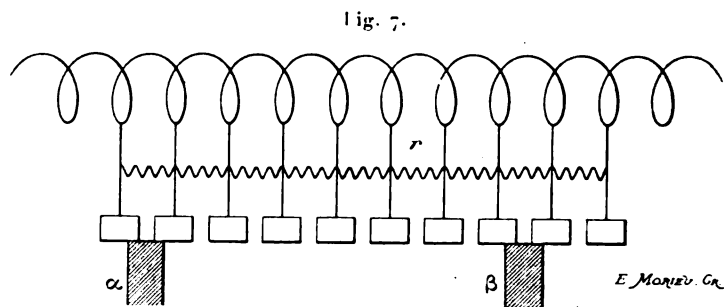
» Un semblable moteur peut, évidemment, démarrer dans les conditions d'un moteur d'induction avec résistances sur le rotor.

» Ces machines ont l'inconvénient d'avoir un collecteur, mais il convient de remarquer que l'on ne doit commuter ici que la puissance nécessaire à l'excitation.

» M. Heyland propose de mettre des shunts entre lames. Pour la marche synchrone, que je recherche spécialement, il me paraît facile de se rendre compte que ces shunts ont une fonction absolument analogue à celle des shunts que l'on dispose dans les collec-

teurs simples à deux ou trois lames et qu'ils ont simplement pour effet d'éviter les étincelles.

» Admettons (*fig. 7*) qu'il y ait, en dehors des sections court-circuitées sous les balais, n sections entre les balais deux à deux.



Il y aura n shunts de résistance r . C'est exprimer une identité que de dire que tout se passe alors comme si l'on disposait une résistance égale à nr entre les balais deux à deux, soit entre les bornes du stator deux à deux, soit entre les barres du réseau deux à deux. Autant dire que l'on fait débiter le réseau sur un certain rhéostat, nécessairement beaucoup plus résistant que l'ensemble des appareils du réseau déjà en service. C'est là une précaution qui pourra paraître inutile. On dira que les shunts entre lames mettent le rotor en court-circuit. Le shunt de l'alternateur Thomson-Houston établit de même un enroulement monophasé en court-circuit sur le rotor de l'alternateur. Mais c'est là une particularité qui, en elle-même, ne signifie absolument rien.

» Considérons maintenant la marche avec glissement que M. Heyland préconise particulièrement et que l'on obtient en laissant les balais mal calés. Dire que la commutation reste excellente, c'est dire que le balai α et le balai β (*fig. 7*) fonctionnent parfaitement sans échauffement et sans étincelles, tout comme un frotteur sur une bague ; c'est, par suite, reconnaître que la densité de courant sous chaque balai est uniforme et, par conséquent, la même en face des deux lames sur lesquelles porte chaque balai. Dans ces conditions, la chute ohmique sous les balais est uniforme et, d'ailleurs, relativement faible.

» Dès qu'il y a un glissement, il y a certaines tensions induites dans le rotor.

» La différence de potentiel entre les balais α , β est la résultante géométrique de la chute ohmique dans l'enroulement, et de la tension induite par le glissement. Si la différence de potentiel entre balais et la tension due au glissement sont données, la chute ohmique, et par suite le courant dans le rotor entre les balais α , β , sera donc connue, *sans que l'on ait à s'inquiéter de la grandeur de la résistance des shunts*. Quant au courant dans les shunts, il sera immédiatement connu en fonction de la différence de potentiel entre balais et de leur résistance.

» Si l'on imagine que les forces électromotrices induites dans le rotor donnent lieu à des courants venant se superposer aux courants d'excitation prélevés sur le réseau, il est certain, si la loi d'Ohm est bien vraie, que ces courants se partageront entre les shunts d'une part et le réseau d'autre part, en raison inverse de leurs résistances. Mais le réseau a une résistance tellement faible dans tous les cas par rapport aux shunts (1 pour 100 environ) que la presque totalité des courants induits passera à travers les balais dans le réseau. Le débit dans les shunts sera sans importance.

» Cette façon de raisonner, que pourraient adopter des profanes, ne donne pas, à vrai dire, la théorie du fonctionnement de la machine. Il faut établir correctement le diagramme, et l'on voit alors qu'à *aucun moment du fonctionnement on n'a à se poser la question de savoir quelle est la grandeur des résistances entre lames*. C'est la meilleure façon de prouver qu'elles ne jouent aucun rôle essentiel. Quel intérêt, enfin, pourrait-il y avoir à employer des shunts, autre que celui d'éviter les étincelles puisqu'on a déjà une machine auto-excitatrice ? On dira que la présence des shunts entre lames donnera la possibilité de marcher en moteur d'induction ordinaire. Il s'agirait d'abord d'un moteur d'induction à bien mauvais rendement, et les shunts ne tarderaient pas à chauffer. Mais, en réalité, la question n'est nullement de savoir si l'on *peut* marcher sans balais sur le collecteur ; elle est de savoir si, dans la pratique, on *marche réellement* avec des balais sur le collecteur. Je pourrais tout aussi bien dire que l'absence de shunts entre lames permet l'arrêt immédiat du moteur par l'enlèvement des balais, sans avoir à couper le courant sur le stator, et voir dans cette circonstance un avantage spécial.

» Ainsi donc, les shunts entre lames n'apportent aucune nou-

veauté dans le fonctionnement de la machine. Ils constituent simplement un artifice capable d'éviter les étincelles et, par suite, permettent d'adopter des sectionnements plus faibles. »

M. HEYLAND. — « Il y a eu, ces derniers temps, dans quelques journaux, d'assez nombreuses discussions entre M. Marius Latour et moi sur nos deux systèmes d'alternateur auto-exciteur; j'ai eu, aujourd'hui, le plaisir de faire la connaissance de M. Marius Latour et d'avoir avec lui un long entretien. Je crois pouvoir vous assurer que ces discussions vont cesser, et que nous sommes d'accord, en principe, sur les différences essentielles de nos deux systèmes.

» Nous avons pu constater que nous avons visé tous deux un but semblable, mais en nous plaçant à deux points de vue différents, et cela, à peu près à la même époque.

» Le premier brevet français de M. Latour est du 13 décembre 1900; mon premier brevet allemand, du 2 décembre de la même année.

» La différence essentielle entre les deux systèmes est que M. Latour envisage l'excitation par courants triphasés d'un *champ constant en direction*, tandis que j'envisage l'excitation d'un *champ tournant* dans des machines d'induction. »

M. M. LATOUR. — « Je ne suis nullement d'accord avec M. Heyland. Les constructions de M. Heyland sont identiques aux miennes, à cela près que M. Heyland dispose des résistances entre les lames du collecteur pour éviter les étincelles.

» Le brevet allemand du 2 décembre 1900, auquel fait allusion M. Heyland, concerne un dispositif *pour éviter la formation des étincelles au commutateur des machines électriques*.

» Il n'y s'agit, en aucune façon, de machines auto-excitatrices.

» Mon brevet français du 13 décembre 1900 concerne un *alternateur auto-exciteur ou générateur de courant dévattu*.

» Il convient de ne pas établir de confusion.

» Ma machine est une machine à champ constant, *parce que je fais en sorte qu'il en soit ainsi*. Il n'en est pas moins vrai que les machines de M. Heyland ne constituent pas des machines nouvelles par rapport à celles que je construis. Tous les phénomènes qui se produisent dans les machines de M. Heyland se produisent déjà dans mes constructions. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Marius Latour et fait remarquer que c'est la première fois qu'un ancien élève de l'École supérieure d'Électricité apporte à la Société une contribution aussi importante; il en félicite tout particulièrement l'auteur.

M. le PRÉSIDENT estime que c'est une bonne fortune que M. Heyland ait bien voulu faire part à la Société des travaux dont la théorie sera développée dans le *Bulletin mensuel*.

La suite de la discussion est remise à une réunion ultérieure et la séance est levée à 11^h 15^m du soir.

PÉRIODIQUES ÉTRANGERS.

MÉMOIRES ORIGINAUX.

ALLEMAGNE.

Elektrotechnische Zeitschrift.

13/3. — Sur l'électrolyse des canalisations par les tramways; *R. Ulbricht*. — Théorie des connexions équipotentiellles dans les armatures de dynamos; *E. Arnold*. — Théorie de la lampe à arc Regina; *B. Donath*. — Mesure exacte des grandes différences de phase; *M. Breslauer*.

20/3. — Théorie des connexions (*fin*); *E. Arnold*. — Moteurs à courant continu et à vitesse variable; *A. Hündt*. — Étude d'un moteur polyphasé de la Maschinenbau A. G.; *E. Ziehl*. — Appareil de démonstration pour courants alternatifs; *R. Heilbrun*. — Signaux de bloc pour chemins à une voie; *L. Kohlfürst*.

27/3. — Bases scientifiques de la Télégraphie sans fil; *A. Slaby*. — Armatures à courant continu parcourues par des courants alternatifs; *L. Fleischmann* et *A. Orgler*. — Contribution au calcul des prix des canalisations électriques; *L. Cohn*. — Statistique des chemins de fer électriques en Allemagne.

3/4. — Degré de régularité et décalage angulaire des machines à manivelle; *F. Klömme*. — Simple méthode pour régler la tension d'éclairage sur les chemins de fer électriques; *H. Schuh*. — Calcul prompt et pratique des rhéostats pour lumière; *P. Gesing*.

10/4. — Combien de lames au collecteur doit avoir une dynamo; *A. Rothert*. — Méthode de zéro pour mesures magnétiques; *R. Goldschmidt*. — Ondes électriques au point de vue de la Télégraphie de Marconi; *G. Seibt*.

Centralblatt für Accumulatoren und Elementenkunde.

15/3. — Théorie de l'accumulateur au plomb d'après Dolazelek; *W. Jäger*.

1/4. — Théorie... (*suite*); *W. Jäger*. — Formation électrolytique du peroxyde de plomb; *F. Peters*. — Recherches sur le plomb spongieux; *U. Schoop*.

AMÉRIQUE.

Electrical World and Engineer.

22/2. — Note sur le spectre de l'arc enfermé; *W. Smith*. — Effet des ondes électriques sur le cerveau; *A. Collins*.

1/3. — Interrupteur Wehnelt modifié; *A. Foley* et *R. Nyswander*. — Télégraphie Slaby-Arco; *A. Collins*. — Problème général de la propagation des ondes.

8/3. — Derniers progrès de la Télégraphie Marconi; *W. Blaydes*. — Installation d'une grande puissance hydraulique à Hartford; *A. Adams*.

15/3. — Procédé de synchronisation des moteurs; *W. Duane*. — Permutateur (redresseur) de courants alternatifs à balais tournants; *P. Letheule*. — Élévation des couches conductrices de l'atmosphère; *A. Kenelly*. — Système de transmission de Mexico; *S. Hayes*.

22/3. — Système de transmission (*suite*); *S. Hayes*. — Pose d'un câble sous-marin en hiver au Canada; *G. Holman*.

29/3. — Trainage électrique dans les mines; *W. Clarke*. — Système de transmission (*fin*); *S. Hayes*. — Stabilité et capacité de surcharge des moteurs synchrones; *P. Baum*. — Grues et treuils pour aciéries; *A. Krebs*.

Transactions of the American Institute of Electrical Engineers.

FÉVRIER 1902. — Méthode d'éclairage; *L. Bell*. — Relation de la puissance des moteurs et de l'horaire des trains électriques; *C. Hutchinson*. — Sur l'inertie des parties mobiles d'un train; *N. Storer*. — Choix des moteurs pour railways; *W. Potter*. — Système de transmission.

ANGLETERRE.

The Electrician.

14/3. — Le problème des chemins de fer électriques; *J. Swinburne*. — Bobines d'essai pour wattmètres alternatifs; *R. Beattie*. — Distribution du courant à la surface des cathodes dans les tubes à vide.

21/3. — City and South-Railway (*fin*). — Ionisation des gaz par le choc des ions; *J. Stark*. — Fours électriques; *B. Blount*.

28/3. — Fours électriques (*fin*); *B. Blount*. — Essai de Mance modifié; *J. Stevens*. — Traction électrique à Londres; *J. Robinson*.

4/4. — Transport d'énergie sur la côte Nord-Est; *C. Vesey-Brown*. — Problème des chemins de fer électriques; *J. Swinburne* et *R. Cooper*. — Note sur la grandeur et l'inertie des électrons; *O. Heaviside*. — Essais sur la lampe Nernst; *R. Hulse*. — Le Tunnel de Baker-Street; *A. Haigh*. — Courants polyphasés (*suite*); *C. Eborall*. — Derniers succès de M. Marconi dans la Télégraphie océanique; *W. Blaydes*. — Notes sur la puissance hydraulique de l'Irlande et son emploi électrique; *W. Eatlow*.

11/4. — Essais sur la lampe Nernst (*fin*); *R. Hulse*. — Chute de potentiel sur les lignes de tramways; *G. Kapp*. — Le problème des chemins de fer électriques; *J. Swinburne* et *R. Cooper*.

The Electrical Review.

14/3. — Localisation finale des terres sur les circuits à basse tension; *A. Mc Dowall*. — Appareillage de station centrale pour haute tension (*suite*); *H. Clothier*. — Réaction d'induit et position des balais (*suite*); *H. Hobart*. — Essais et emploi des moteurs électriques (*suite*); *P. White*.

21/3. — Réaction... (*fin*); *H. Hobart*. — Appareillage... (*fin*); *H. Clothier*. — Télégraphie sans fil et câbles sous-marins; *E. Guarini*.

28/3. — Calcul des dynamos; *R. Kennedy*. — Fours électriques; *B. Blount*.

4/4. — Circulation dans les chaudières à tubes d'eau; *B. Booth*. — Déplacement de phase des alternateurs et marche en parallèle; *H. Leake*. — Télégraphie... (*fin*); *E. Guarini*. — Fours électriques (*suite*); *B. Blount*. — Notes sur les circuits inductifs; *W. Brew*.

Journal of the Institution of Electrical Engineers.

Principes de la vente de l'Électricité; *A. Wright*. — Visite en Allemagne. — Courants terrestres dérivés des distributions électriques; *B. Wedmore*. — Note sur les diagrammes de courants alternatifs, essais des moteurs; *M. Sumpner*. — Rupture des arbres des machines couplées directement par les oscillations aux vitesses critiques; *J. Frith*. — Installation et entretien des voitures électriques; *A. Wigram*. — Note sur l'effet de la foudre sur les oiseaux; *J. Leonard*.

AUTRICHE.

Zeitschrift für Elektrotechnik.

16/3. — Chemin de fer triphasé à haute tension de Wüllersdorff; *F. Golwig*. — Progrès de la Télégraphie sans fil; *Kareis*.

23/3. — Perforatrices électriques; *E. Heubach*. — Chemin de fer... (*fin*); *F. Golwig*.

30/3. — Facteurs de force et de maximum; *G. Benischke*. — Protection des piétons et freinage des tramways; *E. Seefelner*.

6/4. — Exploitation électrique des chemins de fer; *G. Meyer*.

13/4. — Interrupteur automatique pour transformateurs; *D. Jacobovitz*. — Rendement et facteur de puissance de petits moteurs triphasés. — Lampe Bremer; *S. Saubermann*.

BIBLIOGRAPHIE.

Les tramways électriques, par HENRI MARÉCHAL, Ingénieur des Ponts et Chaussées,
2^e édition, entièrement refondue.

A côté des perfectionnements et des nouveautés qui se sont fait jour depuis la première édition du même Ouvrage, l'auteur a très judicieusement pensé qu'il était nécessaire d'introduire et de développer surtout une partie concernant l'exploitation des entreprises de traction électrique. C'est donc plutôt un Ouvrage entièrement différent de l'édition primitive qu'une réédition.

Après un exposé sommaire du principe des systèmes employés en traction, l'auteur aborde la construction de la voie et signale la tendance de plus en plus marquée à employer les rails lourds.

Dans une série de Chapitres bien divisés sont décrits les appareils et procédés de montage, ainsi que toutes les particularités relatives aux divers systèmes : trolley, caniveau souterrain, contacts superficiels, accumulateurs ; matériel roulant ; voitures et moteurs.

Toutes ces matières sont traitées en sept Chapitres et forment pour ainsi dire la première Partie de l'Ouvrage.

Déjà, dans le huitième Chapitre, *Dépôts et ateliers*, l'importance des dispositions qui touchent à l'exploitation apparaît nettement.

De l'organisation des stations et des sous-stations, du choix de leur emplacement dépendent pour une bonne part les résultats d'une entreprise de traction.

En quelques pages, non des moins importantes, la question des conditions générales d'exploitation est exposée ; ce Chapitre mérite les méditations tout autant du public que des exploitants. C'est le résumé d'une éducation qui reste réellement à faire chez nous pour réaliser le *rapid transit* cher aux voyageurs et l'*economic transit*, non moins intéressant pour le budget des Compagnies. Tout ceux qu'intéresse la traction électrique puiseront aussi d'utiles renseignements dans le Chapitre consacré aux dépenses d'exploitation ; grâce à des bases sérieuses indiquées par la pratique, bien des mécomptes pourront ainsi être évités.

L'Ouvrage de M. Maréchal, exposé, dans toute son étendue, sans recours à aucune formule compliquée, sans développements inutiles et alourdisants, est d'une lecture simple permettant d'embrasser facilement l'ensemble du sujet. Il peut être considéré comme un guide résumé à consulter utilement pour tous ceux qui, à un titre quelconque, sont intéressés au développement de la traction électrique.

Practical calculation of dynamo-electric machines (Calcul pratique des machines dynamos; courant continu), par ALFRED E. WIENER, E. E., M. E.; 2^e édition, révisée et augmentée.

Cet Ouvrage, qui ne comporte pas moins de 700 pages de texte, s'adresse particulièrement aux praticiens et aux étudiants en Électrotechnique qui débutent dans cette branche et qu'un appareil analytique important serait de nature à rebuter.

C'est un genre de publication qui, en matière de machines dynamos, n'existe pas à proprement parler en France.

En raison des nombreux documents qu'il renferme, le *Traité* de M. Wiener pourra être consulté utilement par ceux qui, pratiquant la langue anglaise, désireront acquérir des notions simples et générales. L'auteur a fort heureusement disposé, en regard des données et formules en unités anglaises, les valeurs correspondantes dans le Système métrique. De nombreux exemples font saisir l'emploi des formules et facilitent ainsi la compréhension.

L'Ouvrage, qui comporte près de 400 figures, est édité avec le soin qui caractérise les publications de l'*Electrical World and Engineer*.

Transport de l'énergie à grandes distances par l'électricité, par M. F. LOPPÉ, Ingénieur des Arts et Manufactures. E. Bernard et C^{ie}, imprimeurs-éditeurs.

M. Loppé a réuni, dans une très intéressante plaquette de 200 pages environ, une série de renseignements concernant spécialement l'emploi des très hautes tensions pour le transport de l'énergie à grandes distances.

Au lieu de nous donner une suite de descriptions arides et sans liaison des appareils pour installations à haute tension présentés à l'Exposition de 1900, l'auteur a rassemblé en un véritable mémento les principes relatifs à cette matière et les détails de leur application.

Tous ceux qu'intéresse l'emploi des tensions élevées trouveront, dans cet Ouvrage très documenté, des indications précises sur les dispositions usitées à ce jour et consacrées par la pratique.

La description de quelques types d'installations importantes forme un heureux complément.



LISTE DES OUVRAGES.

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

France.

Année (l') industrielle. Découvertes scientifiques et inventions nouvelles en 1901, par MAX DE NANSOUTY. Paris, F. Juven, 1902, in-8 broché (avec fig.). (Don de l'Éditeur.)

Câbles (les) sous-marins. Fabrication, par ALFRED GAY. Paris, Gauthier-Villars et Masson, sans date [1902]; in-16 broché (avec figure). (Don des Éditeurs.)

Collection *Scientia*. — Série physico-mathématique, nos 13 à 18: *Cryoscopie*, par F.-M. RAOULT; *Franges d'interférence et leurs applications métrologiques*, par J. MACÉ DE LÉPINAY; *La géométrie non-euclidienne*, par P. BARBARIN; *Le phénomène de Kerr et les phénomènes électro-optiques*, par E. NÉCULCÉA; *Théorie de la Lune*, par H. ANDOYER; *Géométrographie*, par ÉMILE LEMOINE. 6 fascicules in-8° écu cartonnés. (Don de l'Éditeur.)

Collection *Scientia*. — De la série biologique : *La Spéléologie ou science des cavernes*, par E.-A. MARTEL. De la série physico-mathématique : *La Stéréochimie*, par F. FREUNDLER; *Groupements cristallins*, par FRÉD. WALLERANT; *L'élimination*, par H. LAURENT; *Tonométrie*, par F.-M. RAOULT; *La célérité des ébranlements de l'éther*, par L. DÉCOMBE; *Les rayons cathodiques*, par P. VILLARD. Paris, Carré et Naud, 1899-1900; 7 fascicules in-8° écu cartonnés. (Don des Éditeurs.)

1851-1901. *Cinquantenaire scientifique de M. Berthelot*, 24 novembre 1901. Paris, Gauthier-Villars, 1902; 1 vol. grand in-4° broché (avec 24 planches hors texte). (Don du Comité du Cinquantenaire.)

Les combustibles solides, liquides, gazeux. Analyse, détermination du pouvoir calorifique, par M. H.-J. PHILIPPS. — Ouvrage traduit de l'anglais d'après la 3^e édition, par JOSEPH ROSSET. Paris, Gauthier-Villars, 1902; in-18 Jésus, broché (avec 15 fig.). Collection des *Actualités scientifiques*. (Don de l'Éditeur.)

Électricité (l') à l'Exposition de 1900. 14^e fascicule : *Compteurs électriques*, par J.-A. MONTPELLIER et M. ALIAMET. 16^e fascicule : *Les automobiles et les cycles*, par PAUL SENCIER. Paris, V^e Ch. Dunod, 1902; 2 fascicules grand in-4° brochés. (Don de l'Éditeur.)

Électricité (l') à l'Exposition de 1900. 12^e fascicule : Electrochimie et Électrométallurgie, par ANDRÉ BROCHET. Paris, V^{re} Ch. Dunod, 1902; 1 fascicule grand in-4^o broché. (*Don de l'Éditeur.*)

Électromoteurs. I. Courant continu, par G. RÖESSLER. Traduit de l'allemand par EMMANUEL SAMITCA. Paris, V^{re} Ch. Dunod, 1902; 1 vol. in-8^o broché (avec figures). (*Don de l'Éditeur.*)

Exposition universelle de 1900 à Paris. Liste des récompenses. Paris, Imprimerie nationale, 1902; 1 vol. grand in-4^o broché. (*Don de M. Hillairet.*)

Houille (la) blanche et son utilisation par le réseau général des forces naturelles hydro-électriques, par L. MÄHL. Paris, imprimerie de Vaugirard et V^{re} Ch. Dunod, 1902; 1 brochure grand in-8^o (avec figure). (*Don de M^{me} V^{re} Ch. Dunod.*)

Lumière (la) Lucas, Société anonyme d'éclairage intensif à incandescence par le gaz. Notice. Paris, imprimerie G. Richard, 1902; 1 brochure in-8^o.

Mécanique (la) à l'Exposition de 1900. 5^e fascicule : Les moteurs hydrauliques, par M. RATEAU. 9^e fascicule : *Appareils de sécurité*, par HENRY MAMY; 2 fascicules in-4^o brochés. Paris, V^{re} Ch. Dunod, 1902. (*Don de l'Éditeur.*)

Transport de l'énergie à grandes distances par l'électricité, par F. LOPPE. Paris, E. Bernard et C^{ie}, 1902; 1 vol. grand in-8^o broché. (*Don des Éditeurs.*)

Étranger.

Effect (the) of the induction-coil in telephonic apparatus, by J.-W. GILTAI. Reprinted from *Proceedings of the meeting of saturday january 25, 1902. s. l. n. d.*; 2 brochures in-4^o. (*Don de l'Auteur.*)

Electric power transmission, a practical treatise for practical men, by LOUIS BELL, Ph. D. Third edition, revised and enlarged. New York, *Electrical World and Engineer* (incorporated), sans date [1902]; 1 vol. in-8^o relié toile (avec figures et planches hors texte). (*Don des Éditeurs.*)



INFORMATIONS.

La *Société des Ingénieurs civils de France* nous communique les documents suivants :

PRIX HENRI SCHNEIDER.

A l'occasion de l'Exposition universelle de 1900, la Famille de M. Henri Schneider, le grand industriel, a fait don à la *Société des Ingénieurs civils de France*, et conformément aux volontés qu'en avait exprimées M. Henri Schneider avant sa mort, d'une somme relativement considérable.

Cette donation a été faite en vue de distribuer, par les soins de ladite Société, 7 prix de 5000^{fr} chacun pour les 7 catégories ci-dessous, chaque prix de 5000^{fr} étant destiné à récompenser l'auteur de l'Ouvrage, publié en France depuis une période de 40 ans, écrit ou traduit en français, jugé, par la *Société des Ingénieurs civils de France*, le plus utile au développement, en France, de la branche d'industrie faisant l'objet de la catégorie du prix.

Ces sept catégories sont relatives :

- La première à la Métallurgie,
- La deuxième aux Mines,
- La troisième à la construction mécanique,
- La quatrième aux grandes constructions métalliques,
- La cinquième aux constructions électriques,
- La sixième aux constructions navales,
- La septième à l'Artillerie et aux défenses métalliques de terre et de bord.

Les auteurs d'Ouvrages répondant aux conditions du règlement ci-après, et qui désirent concourir, sont priés d'envoyer les Ouvrages en question à la *Société des Ingénieurs civils de France*, 19, rue Blanche, avant le 1^{er} juillet prochain, dernier délai.

Il leur sera accusé réception desdits Ouvrages qui, s'ils le désirent, leur seront rendus après la clôture du concours ⁽¹⁾.

Conditions régissant l'inscription des Ouvrages pouvant concourir.

ARTICLE PREMIER.

Tout Ouvrage doit, pour être inscrit :

- 1° Avoir contribué, soit par la théorie, soit par la pratique, au développement de la branche d'industrie faisant l'objet de la catégorie du prix correspondant ;
- 2° Dater au plus de 1860,
- 3° Avoir été écrit en français,
- 4° Avoir été publié en France,
- 5° Si c'est un Ouvrage étranger, avoir été traduit en français et la traduction publiée en France.

ARTICLE DEUXIÈME.

- 1° L'auteur devra être vivant.
- 2° Aucun Ouvrage d'auteur décédé ne sera inscrit, même si la publication en français avait été faite par les membres de la famille ou par le traducteur encore vivant.
- 3° Le traducteur, en aucun cas, n'est considéré comme pouvant remplacer l'auteur.

ARTICLE TROISIÈME.

1° Sera inscrit, sous les deux conditions précédentes, tout Ouvrage de *théorie* ou de *pratique* répondant aux conditions suivantes :

2° *Ouvrage théorique.* — La théorie devra être suffisamment complète, et son exposé tel que les conséquences en découlant auront pu être mises immédiatement en application.

3° *Ouvrage pratique.* — Les procédés étudiés et décrits devront avoir produit, dans la branche correspondante, un perfectionnement important ayant développé cette industrie.

(1) Les lettres et envois doivent être ainsi libellés :

Société des Ingénieurs civils de France
(Prix Henri Schneider),

19, rue Blanche, Paris.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Régularisation du courant électrique fourni par un moteur à gaz (Dispositif de M. Girard, présenté par M. Lauriol), p. 413. — Réaction d'induit et chute de tension dans les machines dynamo-électriques (M. R.-V. Picou), p. 425. — Quelques applications d'alternateurs compounds (M. Boucherot), p. 447. — Éclairage électrique des trains (*suite*) (M. Jacquin), p. 485. — Note sur les essais magnétiques du fer (M. Armagnat), p. 525.

Laboratoire central d'électricité, p. 531.

Prorogation par le Conseil municipal de la Ville de Paris du terrain des ambulances, sis rue de Staël, p. 532.

ANNEXE. — Courbe de variation de vitesse angulaire (communiquée par M. Chevrier), p. 534.

BIBLIOGRAPHIE, p. 535.

OUVRAGES OFFERTS, p. 537.

Avis, p. 538.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 4 juin 1902 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. E. HARLÉ.

La séance est ouverte à 8^h 30^m du soir.

Le procès-verbal de l'Assemblée générale annuelle et de la réunion mensuelle est adopté.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Bibliothèque (p. 537) et des demandes d'admission suivantes :

MM.

Erlachu (Georges-J.), Chef du bureau des Études de la *Société industrielle des Téléphones*, 64, rue Lafontaine, à Paris. — Présenté par MM. Courtois et Peyré.

Friguieros de Martel (Waldez), Ingénieur civil des Mines, 115, rue Ferreira-Borges, à Lisbonne (Portugal). — Présenté par MM. Castanheira das Nèves et Sabourain.

Lorfeuvre (Maurice), Ingénieur à l'*Est-Lumière*, à Vincennes, 21, rue de Belfort, à Vincennes (Seine). — Présenté par MM. Janet et Laporte.

Montès (Henri), Électricien, Service de la Traction des Chemins de fer de l'Est algérien, à Constantine (Algérie). — Présenté par MM. Janet et Grosselin.

Nicolini (Eugène), Ingénieur, Directeur des Travaux à la *Société parisienne électrique*, 23, boulevard Rigo-Danel, à Lille (Nord). — Présenté par MM. Brachotte et Vuilleumier.

Rohrer (Paul), Attaché à la *Compagnie continentale des Compteurs*, 64, rue d'Orsel, à Paris. — Présenté par MM. Lacaze et Laurain.

Ticier (Armand), Directeur de la *Société d'Éclairage électrique de Bordeaux et du Midi*, 28, rue du Temple, à Bordeaux (Gironde). — Présenté par MM. Boisserand et Fontaine.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

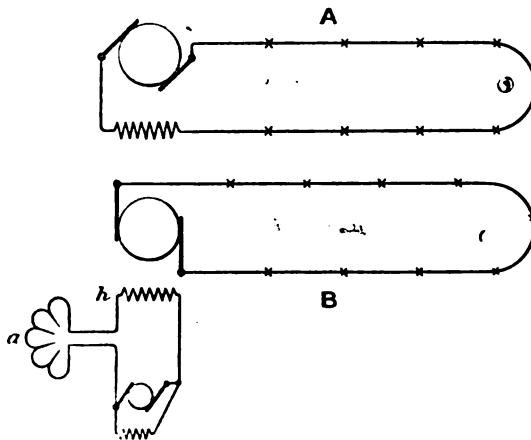
L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

**DISPOSITIF DE M. GIRARD POUR LA RÉGULARISATION DU COURANT ÉLECTRIQUE
FOURNI PAR UN MOTEUR A GAZ.**

(Présenté par M. Lauriol.)

M. LAURIOL. — « Par suite de diverses circonstances qu'il serait trop long de rapporter ici, l'usine électrique municipale des Buttes-Chaumont a subi successivement diverses modifications. Sous sa dernière forme, abstraction faite des parties accessoires et des secours, elle comporte en marche normale un moteur à gaz Charron à un cylindre et à quatre temps de 30 kilowatts faisant 150 tours par minute, actionnant par courroie deux dynamos à courant continu de 10 ampères, 1500 volts, qui desservent chacune un circuit d'arcs en série (fig. 1). L'une des dynamos (A) est du type Henrion à

Fig. 1.



excitation en série, l'autre (B) du type Gramme avec excitatrice séparée calée sur l'extrémité de l'arbre, excitée elle-même en dérivation et fonctionnant sous 100 à 130 volts.

» Dans les limites de puissance où l'on a à fonctionner, le réglage du moteur se fait, non par *tout* ou *rien*, mais par réduction de l'admission, en conservant une explosion par deux tours. Les variations de vitesse, pendant un tour, à pleine puissance, atteignent environ

1,5 pour 100 de part et d'autre de la vitesse moyenne, soit 3 pour 100 d'écart total.

» Lorsque tout cet ensemble a été mis en fonctionnement on a constaté des fluctuations assez sensibles de la lumière, synchrones avec le cycle du moteur, c'est-à-dire se reproduisant une fois par deux tours. Avec une même dynamo les fluctuations sont très légèrement plus sensibles sur un circuit composé de lampes Pilsen que sur un circuit composé de lampes Kremenezki; toutefois à l'œil la différence est peu appréciable. Mais les fluctuations dépendent surtout de la dynamo actionnant le circuit. Lorsque le moteur à gaz et les deux dynamos fonctionnent, quel que soit le type des lampes actionnées par chaque dynamo, on observe des fluctuations sensibles sur le circuit de la dynamo Gramme, tandis qu'elles sont insensibles sur le circuit de la dynamo Henrion. M. Girard, directeur de l'usine, a attribué cette différence à ce que la dynamo Henrion possède une inertie beaucoup plus grande que la dynamo Gramme et à ce que la transmission par courroie lui permet de ne pas suivre exactement les variations de vitesse du moteur. L'explication me paraît assez vraisemblable. Des calculs sommaires donnent en effet les nombres suivants :

Travail moteur pendant un cycle.....	3000	kgm
Force vive emmagasinée à la vitesse	{	le volant 91000
moyenne dans :		l'induit Gramme.... 2600
		l'induit Henrion 16900

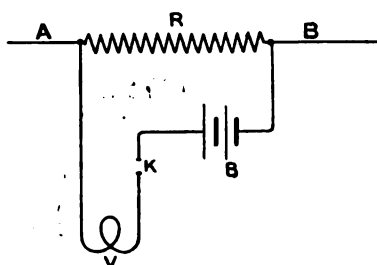
» Comme renseignement complémentaire j'ai calculé l'écart entre un point de la périphérie du volant se déplaçant avec la vitesse vraie, variable pendant un cycle, et le même point se déplaçant avec une vitesse constante égale à la vitesse moyenne. Cet écart serait ici d'environ 0^m,015 de part et d'autre de la position moyenne, soit 0^m,030 en tout. Telle serait la différence à racheter par les allongements et contractions de la courroie, glissement, variation de flèche, etc. Si l'explication donnée est exacte, il semble qu'on devrait voir sur la courroie de la dynamo Henrion des flottements plus forts que sur celle de la dynamo Gramme. Le fait ne s'observe que d'une façon irrégulière.

» Nous nous sommes demandé s'il pouvait y avoir quelque effet

de résonance purement mécanique. S'il en était ainsi, des variations de vitesse devraient modifier l'allure des oscillations; il n'en a rien été pour des variations de vitesse de 10 pour 100 au plus et en moins de la vitesse normale.

» Les irrégularités étant constatées il y avait tout d'abord à les mesurer. Dans ce but M. Girard a combiné un ondographe, analogue à celui que M. Hospitalier a dernièrement présenté à la Société, mais approprié à la très basse fréquence des oscillations à mesurer. Le courant principal (*fig. 2*) alimentant les arcs passe dans une

Fig. 2.



faible résistance R aux bornes de laquelle vient se brancher un circuit dérivé passant dans un voltmètre enregistreur très amorti V . Une batterie d'accumulateurs B contrebalance la plus grande partie de la différence de potentiel aux bornes de R , de sorte qu'on mesure en réalité cette différence de potentiel (ou bien l'intensité qui traverse R) diminuée d'une quantité constante; on obtient ainsi plus facilement un enregistrement à grande échelle des variations. Un commutateur K , manœuvré par l'arbre du moteur au moyen d'un engrenage, ferme le circuit AVC pendant une durée constante égale à une faible fraction de la durée du cycle du moteur et à des intervalles de temps égaux à $\frac{1}{85}$ de la durée du cycle. On a ainsi au bout de 85 cycles le tracé d'une courbe représentant la variation pendant un cycle, étant admis, comme dans tous les appareils analogues, que les 85 cycles ont été sensiblement identiques.

» L'aiguille du galvanomètre, partant du zéro, reçoit d'abord une série d'impulsions dans l'intervalle desquelles la force antagoniste tend à la ramener en arrière (*fig. 3*). Au bout de quelques secondes, pour une valeur constante du courant, elle exécute une série d'oscillations toutes identiques entre elles, et un étalonnage de l'appareil

permet de trouver la relation entre la position de l'aiguille et la valeur du courant. La relation est encore sensiblement vraie lorsque

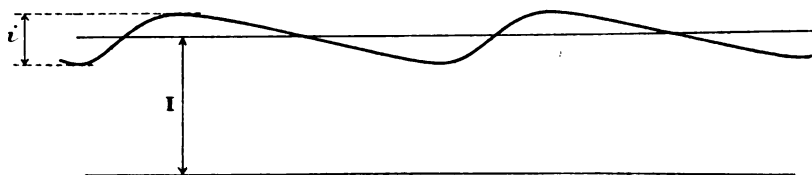
Fig. 3.



l'aiguille, au lieu de recevoir des impulsions identiques, reçoit des impulsions lentement variables.

» Nous examinerons plus loin le détail des constatations faites avec cet instrument. Disons tout de suite qu'avec la machine Gramme, non munie du rhéostat dont il sera question plus loin, on trouve, ainsi que la théorie peut le faire prévoir, des intensités périodiquement variables avec augmentation rapide et décroissance lente (*fig. 4*). On peut laisser de côté les variations secondaires dues

Fig. 4.



à l'inertie des pièces animées d'un mouvement de va-et-vient. Le seul point important à noter dans l'avenir sera l'importance relative des oscillations, le rapport $\frac{i}{I}$.

» Pour corriger les fluctuations de courant observées avec la machine Gramme, M. Girard a eu l'idée du dispositif suivant (*fig. 1*). Au moyen d'un rhéostat *a*, intercalé dans le circuit d'excitation et manœuvré par l'arbre *de distribution* du moteur, faire varier périodiquement la résistance de ce circuit et par suite l'intensité dans ce circuit et le champ produit par les inducteurs *h*. En entraînant la dynamo principale à vitesse constante et en faisant lentement varier le courant d'excitation, on relève la caractéristique à vide, on détermine ainsi les résistances à introduire en *a* (*fig. 1*) pour obtenir une valeur donnée du champ. S'il y a lieu, on peut facilement tenir

compte de l'hystérésis. En réglant le rhéostat de façon à faire varier le champ comme l'inverse de la vitesse, on aura une force électromotrice constante sur le circuit principal. La courbe du courant tracée par l'ondographe donne tout au moins la position des maxima et minima de vitesse, mais sur un circuit d'arcs l'intensité croît notablement plus vite que la force électromotrice et les oscillations du courant sont notablement supérieures à celles de la vitesse. La valeur approchée de ces oscillations de vitesse peut être calculée facilement d'après les données purement mécaniques du moteur et, en réduisant dans le rapport voulu les oscillations autour de la valeur moyenne, on peut déterminer la loi de variation de la vitesse.

» Le rhéostat calculé d'après ces données n'a produit aucun amortissement appréciable des fluctuations. M. Girard a cherché expérimentalement si, en conservant le principe et en modifiant les dimensions du rhéostat, on arriverait à un résultat meilleur. Après quelques tâtonnements l'expérience a été couronnée de succès; les fluctuations de lumière ont été pratiquement éteintes, ce qui a correspondu à une réduction d'environ $\frac{2}{3}$ sur les oscillations du courant dans les arcs; mais il a fallu pour cela : 1^o donner au rhéostat une résistance quinze fois plus grande que celle à laquelle conduisait la théorie précédente; 2^o au lieu de faire coïncider le maximum de résistance avec le maximum de vitesse, lui donner une avance d'environ $\frac{1}{8}$ de cycle. Nous donnons (*fig. 5*), en fonction des angles décrits par l'arbre de distribution : n^o 1, le rapport de la vitesse instantanée à la vitesse moyenne; n^o 2, le rapport de la résistance totale instantanée du circuit inducteur à sa valeur moyenne.

» La caractéristique étant sensiblement rectiligne depuis l'origine jusqu'à la valeur moyenne de la force électromotrice, les courbes 1 et 2 devraient coïncider et comme amplitude et comme phase si la théorie indiquée plus haut était exacte.

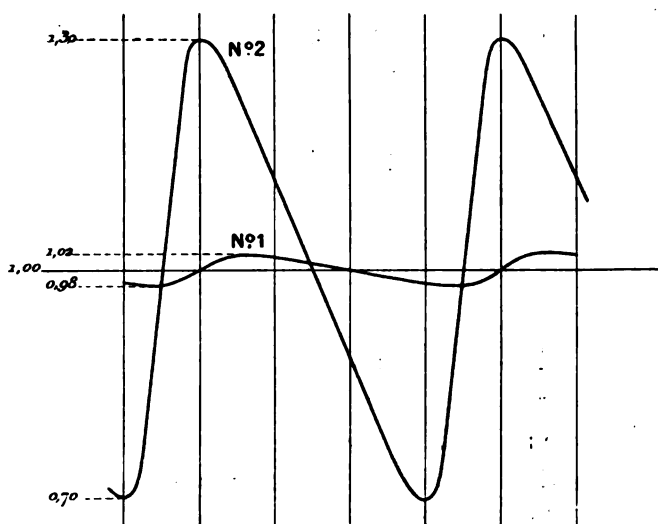
» Nous avons supposé que la force électromotrice de l'excitatrice restait constante malgré les variations de vitesse, ce qui n'est pas exact. De ce chef il faudrait peut-être doubler ou tripler les variations accusées par la courbe 1 pour éteindre complètement les variations de courant. Pour la réduction des $\frac{2}{3}$ à laquelle on est arrivé, il faudrait des variations relatives de résistance égales à une fois et demie ou deux fois, trois fois au plus, les variations de la courbe 1;

mais on n'obtiendrait jamais les amplitudes indiquées par la courbe 2, et en tout cas on n'obtiendrait pas le décalage indiqué sur la figure 5.

» Nous avons recherché avec M. Girard les motifs de cette discordance.

» L'hystérésis ne peut être invoqué à moins que les courbes d'hystérésis ne dépendent de la vitesse avec laquelle un cycle est parcouru. Sur ce point, ainsi que sur les autres phénomènes qui pourraient être dus à une sorte de viscosité magnétique du fer,

Fig. 5.



nous n'avons pas de données suffisantes. En particulier M. Maurain, dans son Ouvrage sur le Magnétisme, ne signale d'effets semblables que pour des intensités d'aimantation très faibles.

» Du reste, un calcul sommaire montre que les faits observés peuvent parfaitement s'expliquer par les lois de l'induction. Contrairement à ce qui avait été supposé tout d'abord, vu la basse fréquence (environ $1 + \frac{1}{3}$ cycle par seconde), l'induction donne des effets très sensibles. Les inducteurs étant massifs, les courants de Foucault ne rencontrent aucun obstacle. Leur influence tend à combattre la force contre-électromotrice de self-induction due au courant inducteur et à rapprocher les valeurs de ce courant de celles qui résulteraient de la loi d'Ohm. Mais d'autre part ils tendent à produire dans le champ des variations inverses de celles qui sont produites

par les variations du courant dans les spires. L'effet final se traduit par un amortissement et un décalage des intensités du champ. Un calcul sommaire montre qu'il y aurait peu d'avantages à avoir des inducteurs feuilletés. Les courants de Foucault seraient supprimés, et à égalité d'intensité du courant inducteur le champ serait augmenté. Mais, en supprimant ces courants qui combattaient la self-induction, on laisse à celle-ci tout son effet et le courant dans les spires se trouve diminué. Finalement les variations du champ resteraient encore bien inférieures à celles qu'on obtiendrait avec les mêmes variations de résistance se produisant avec une lenteur infinie.

» Comme expériences pouvant confirmer les idées que nous venons d'émettre nous avons fait les deux suivantes :

» 1° Le rhéostat de réglage étant intercalé dans le circuit d'excitation, mais manœuvré à la main avec des vitesses variables, on fait débiter la machine à pleine puissance sur des lampes à incandescence, et l'on observe l'ampèremètre intercalé dans le circuit principal. Pour des vitesses de 1 tour du rhéostat en 20 ou 10 secondes, le courant varie d'environ 30 pour 100 et l'éclat des lampes subit les variations correspondantes. Lorsque la vitesse augmente progressivement jusqu'à atteindre 1 tour en 1 ou $\frac{1}{2}$ seconde, l'ampèremètre et les lampes oscillent de moins en moins et finalement restent sensiblement fixes.

» 2° La machine étant en mouvement, mais ne débitant que sur un voltmètre, on coupe brusquement le circuit d'excitation. Les courants de Foucault dans l'inducteur tendent à retarder la disparition du champ magnétique et la force électromotrice met environ 6 secondes à tomber de sa valeur primitive à la valeur sensiblement nulle due au magnétisme rémanent.

» Dans le rhéostat de réglage la résistance ne variait pas en réalité d'une façon continue, comme l'indique la figure 5, mais subissait des variations saccadées dont la courbe n° 2 de la figure 5 indique le tracé moyen. Le rhéostat primitif qui a servi à l'étude comportait vingt-quatre touches; l'expérience a montré qu'un rhéostat à six touches était en pratique très suffisant. Je crois même qu'on pourrait le réduire à quatre touches. Il a parfaitement fonctionné à différents régimes dans les conditions suivantes : le moteur à gaz actionnait

les deux dynamos et l'une de ces dernières, la dynamo Henrion, non munie du rhéostat automatique, marchait au régime constant de 10 ampères, 1500 volts; l'autre, la dynamo Gramme, munie du rhéostat automatique, alimentait un nombre d'arcs variable donnant des tensions de 1000 à 1800 volts, avec une intensité constante de 10 ampères.

» Un pareil rhéostat présente sans doute un très mauvais rendement puisque son effet est absorbé pour la plus grande partie par les effets d'induction. Mais, tel qu'il est, il constitue un appareil simple, robuste, peu coûteux à construire et consommant fort peu d'énergie. Son mauvais rendement peut choquer le théoricien, mais n'a pas d'importance pratique. L'appareil peut être en simple fil de fer, être éloigné de la dynamo, à laquelle il est simplement réuni par deux conducteurs. Nous résumons à ce sujet les données numériques suivantes :

Puissance de la dynamo.....	15 kilowatts
Irrégularité de la vitesse $\frac{\text{maximum-minimum}}{\text{moyenne}}$	0,04
Résistance du rhéostat automatique.....	19 ^{oh}
Courant moyen traversant le rhéostat.....	4 ampères
Puissance (moyenne de ri^2) absorbée par ce rhéostat, environ $\frac{19 \times 4^2}{2}$ (1).....	150 watts
Rapport de la puissance absorbée à la puissance totale (1).....	$\frac{1}{100}$
Dépense de premier établissement (environ).....	40 ^{fr}
Dépense par kilowatt de puissance totale.....	3 ^{fr}

» Les courbes d'intensité obtenues dans les divers cas observés diffèrent surtout par la grandeur des irrégularités constatées. Nous nous contenterons donc de rappeler ici la valeur de ces irrégu-

(1) La machine employée fonctionnait de toute façon avec un rhéostat intercalé sur le circuit d'excitation. Le remplacement du rhéostat fixe par un rhéostat variable n'a entraîné ici aucune augmentation sensible dans la quantité ri^2 . Dans l'espèce, la consommation supplémentaire d'énergie est donc sensiblement nulle. Il en serait autrement dans une machine construite spécialement pour un service donné. La résistance du circuit inducteur comporterait dans tous les cas : 1° la résistance des bobines inductrices; 2° la résistance de réglage qu'on jugerait à propos de se donner. Si, en outre, on veut appliquer le rhéostat automatique, la résistance de ce rhéostat s'ajoute bien aux autres et la partie correspondante de ri^2 est bien une consommation spéciale d'énergie due au dispositif employé.

larités constatées sur l'intensité du courant, c'est-à-dire du rapport $\frac{\text{maximum-minimum}}{\text{moyenne}}$. Nous avons fait répéter sous nos yeux les expériences de comparaison, et les avons fait faire tant sur des circuits d'arcs que sur des circuits de lampes à incandescence.

		Irrégularité (en centièmes).	
		Arcs.	Incandescence.
Machine Henrion		3	$1 + \frac{1}{2}$
Machine Gramme {	Sans rhéostat automatique.....	10	2
	Avec rhéostat automatique.....	3,5	moins de $\frac{1}{2}$

Rappelons que l'irrégularité de la vitesse du moteur est d'environ 3. On doit avoir la même irrégularité pour la force électromotrice avec la machine Gramme sans rhéostat automatique et une irrégularité moindre avec la machine Henrion.

» Avec l'irrégularité de 2 dans le courant, les variations d'éclat des lampes à incandescence sont nettement perceptibles, d'autant plus qu'elles sont régulièrement rythmées à des intervalles d'environ $\frac{2}{3}$ de seconde. Avec une irrégularité de moins de $\frac{1}{2}$, aucune variation n'est plus perceptible.

» Les variations d'éclat des arcs, nettement perceptibles avec l'irrégularité 10, cessent de l'être avec l'irrégularité 3,5.

» Pour un régime donné et une irrégularité donnée de la force électromotrice, l'irrégularité du courant est beaucoup plus grande dans les arcs que dans les lampes à incandescence. Le fait est naturel : la résistance (vraie ou apparente) d'un arc décroît quand le courant croît et lorsque la longueur de l'arc reste sensiblement constante, comme c'est ici le cas. De plus, les variations périodiques de la force électromotrice ont souvent pour effet de faire régler ensemble toutes les lampes de la série, ce qui augmente encore les oscillations. Au contraire, l'augmentation d'intensité augmente la température et par suite la résistance des lampes à incandescence. Les variations de la force électromotrice doivent donc être relativement plus fortes que les variations d'intensité.

» Les chiffres ci-dessus présentent quelques anomalies que nous nous bornons ici à constater. Par exemple, la machine Henrion et la machine Gramme sans rhéostat automatique donnent à peu près la même irrégularité sur les lampes à incandescence et des irrégularités

très différentes sur les arcs. Si, au lieu des mesures à l'ondographe, on fait des observations à simple vue, on trouve que, soit sur les arcs soit sur les lampes à incandescence, la machine Henrion donne des effets comparables à la machine Gramme, munie du rhéostat automatique. Ces anomalies peuvent peut-être s'expliquer par la différence de forme des courbes. La machine Gramme sans rhéostat donne des courbes très dissymétriques (*fig. 4*), tandis que la machine Henrion donne des courbes plus symétriques, plus voisines de la sinusoïde. A égalité d'écart entre le maximum et le minimum, la machine Henrion donne donc des variations moins brusques et par suite moins sensibles à l'œil.

» Il peut venir à l'idée un grand nombre d'autres procédés pour corriger les irrégularités dues au moteur à gaz et en général toutes autres irrégularités. Il serait trop long d'en faire en ce moment l'examen. Mais, d'après une étude sommaire que nous avons faite, il semble que pour le cas d'irrégularités périodiques, se produisant avec la fréquence indiquée (1 cycle en $\frac{2}{3}$ de seconde) ou une fréquence plus basse, le dispositif de M. Girard reste, tout compte fait, l'un des plus avantageux, soit comme simplicité et comme sûreté, soit comme dépenses d'établissement et de fonctionnement. Avec des fréquences plus hautes, l'augmentation du rhéostat pourrait rendre ce procédé impraticable, tandis que d'autres procédés deviendraient plus avantageux.

» Il est d'ailleurs bien évident que le système ne serait applicable ni avec des inducteurs voisins de la saturation, ni avec des moteurs à gaz réglant par *tout* ou *rien* et donnant des cycles successifs non identiques au point de vue des variations de vitesse.

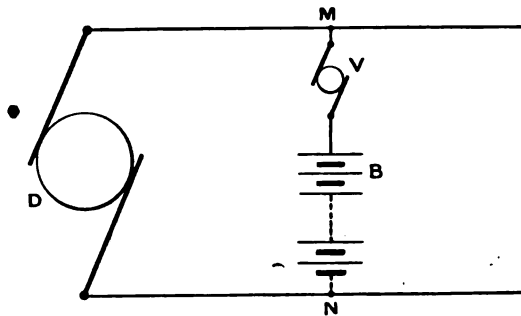
» Parmi les divers dispositifs, un de ceux qui nous paraîtraient les plus dignes d'étude est celui que nous indique le fonctionnement de la machine Henrion, savoir : partager en deux groupes les volants, ou diverses pièces pouvant agir par leur inertie à la façon d'un volant; réunir les deux groupes par un lien élastique permettant un certain jeu entre les chemins parcourus par les pièces de l'un et l'autre groupe. Avec certaines valeurs des masses, des vitesses et de l'élasticité du lien, on peut avoir des effets de résonance mécanique qui exagèrent les oscillations; mais avec d'autres valeurs, on peut avoir une atténuation considérable de ces oscilla-

tions, pour des valeurs données de la puissance, de la vitesse et de la masse ou de l'inertie totale des volants ou autres pièces agissant comme volants.

» L'étude que nous venons de faire nous amène à insister sur les effets perturbateurs que peut produire l'induction dans certains cas, effets sûrement connus, mais qui, néanmoins, semblent avoir été négligés.

» Soit, par exemple (*fig. 6*), un groupe de dynamos *D* alimen-

Fig. 6.



tant un réseau. Une batterie d'accumulateurs *B* forme tampon ; elle n'a aucun élément de réduction. Un survolteur-dévolteur *y* fournit à chaque instant l'appoint positif ou négatif de tension nécessaire. Pour cela, l'excitation varie automatiquement suivant les diverses circonstances de l'exploitation (procédé d'excitation en série du Métropolitain de Paris, procédé Highfield, etc.). La théorie de ces divers procédés néglige, en général, les effets d'induction et suppose que la cause qui tend à faire varier le champ inducteur produit instantanément et entièrement la variation voulue. Dans un réseau d'éclairage, les variations de voltage que l'on a à demander à la machine *V* sont lentes et les effets négligés sont réellement négligeables. Il n'en est plus de même dans un réseau de force motrice ou de tramways, lorsque le courant demandé ou fourni à la batterie subit de brusques et importantes variations. En ce cas, d'après ce que nous venons de voir, et même avec des inducteurs feuilletés, le champ inducteur de *V* ne doit plus obéir avec une rapidité suffisante aux causes qui agissent sur lui ; le réglage de la différence de potentiel entre *M* et *N* ne doit plus se faire que par à peu près ; les

à-coups de débit qui, théoriquement, ne devraient porter que sur la batterie B doivent aussi affecter le groupe générateur D.

» Il serait intéressant d'avoir à ce sujet les renseignements que plusieurs de nos collègues seraient en situation de nous donner. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Lauriol et le prie de vouloir bien transmettre ses remerciements à M. Girard.

**RÉACTION D'INDUIT ET CHUTE DE TENSION DANS LES MACHINES
DYNAMO-ÉLECTRIQUES.**

ESSAI D'UNE MÉTHODE GÉNÉRALE DE PRÉDÉTERMINATION.

M. R.-V. PICOU. — « La détermination, aussi précise que possible, des éléments du fonctionnement d'une machine avant la construction est une question d'importance primordiale. Les dimensions toujours croissantes des unités ont rendu les essais à l'atelier de plus en plus difficiles, souvent impossibles. Aussi, les retouches qui peuvent être nécessaires doivent se faire sur place, loin de l'usine et avec des moyens souvent très sommaires. Il est donc à peine nécessaire d'insister sur l'importance qui s'attache aux méthodes de prédétermination, qui permettraient d'éviter ces retouches.

» Depuis longtemps des tentatives ont été faites dans cette direction. Je n'entreprendrai pas ici d'en faire un historique même sommaire; je me contenterai de rappeler les méthodes les plus connues, non pour en faire un examen critique, mais simplement pour montrer comment elles viennent toutes se rattacher, plus ou moins bien, à l'exposé qui suivra.

» C'est surtout aux alternateurs qu'on s'est attaqué, en raison des décalages importants qu'ils permettent. M. Behn-Eschenburg, abordant un des premiers cette question, a montré tout le parti qu'on pouvait tirer du fonctionnement en court-circuit pour déterminer la self-induction de la machine; la self-induction et la résistance intérieure supposées connues permettent de déterminer les chutes de tension par les diagrammes classiques des quantités vectorielles, appliquées ici aux tensions.

» M. Röthert détermine l'excitation nécessaire pour la marche sous un courant de décalage donné, en composant les ampères-tours qui donnent à vide la tension cherchée avec les ampères-tours qui déterminent, en court-circuit, le courant donné. La composition se fait avec l'angle $\left(\frac{\pi}{2} + \varphi\right)$ de ces vecteurs.

» Ces méthodes donnant des chutes de tension l'une trop forte,

l'autre trop faible, il y a lieu de penser qu'un meilleur résultat sera obtenu en les combinant de quelque manière.

» M. Blondel ⁽¹⁾ considère séparément les réactances wattée et déwattée et applique à chacune d'elles une détermination particulière. Les circuits sur lesquels elles s'exercent étant bien différents on obtient ainsi une approximation plus grande qu'avec les méthodes précédentes. On verra que c'est à cette dernière manière d'analyser le phénomène que vient se rattacher naturellement notre propre travail.

» Enfin, M. Potier ⁽²⁾ a indiqué une méthode qui combine, en quelque sorte, celles de Rothert et de Behn-Eschenburg; il a fait voir, en outre, que la courbe des tensions aux bornes, pour un fonctionnement en courant exclusivement déwatté, est identique à la caractéristique à vide, déplacée parallèlement à elle-même. Les éléments du déplacement, en abscisse et en ordonnée, sont précisément les quantités qui servent à la construction des diagrammes.

» Malheureusement, ces déplacements ne semblent pas calculables; du moins M. Potier montre que le déplacement en abscisses est toujours inférieur aux ampères-tours démagnétisants de l'induit. Ce point est d'accord avec l'exposé qui va suivre.

» L'étude que j'ai été conduit à faire de ces questions m'a donné quelques résultats qui m'ont paru intéressants, en ce qu'ils coordonnent, en quelque sorte, ces diverses méthodes, en les rattachant plus intimement à la théorie des circuits magnétiques, et en comportant ainsi une généralisation qui permet de les appliquer aux machines continues ou alternatives aussi bien qu'aux transformateurs, par exemple.

I.

» *Réaction directe.* — Pour la clarté de l'exposé il est nécessaire de rappeler rapidement la répartition des flux, à vide et en charge, dans la carcasse d'une machine quelconque, que nous supposerons d'abord à courant continu; cette supposition n'a pour but que de permettre de préciser les notations.

⁽¹⁾ *L'Industrie électrique*, 1899, p. 481.

⁽²⁾ *L'Éclairage électrique*, t. XXIV, 1900, p. 133.

» Des raisonnements purement physiques permettent de passer des conditions de marche à vide à celles de la marche en charge, ainsi qu'il suit.

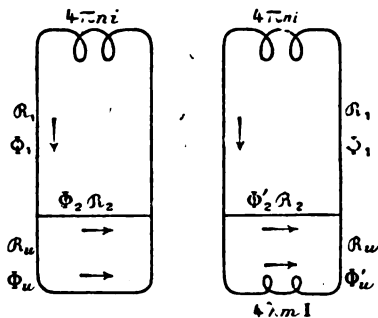
» A vide, la force magnétomotrice de l'inducteur détermine la circulation dans l'induit d'un certain flux utile Φ_u , et l'on peut écrire

$$\Phi_u = f(4\pi ni).$$

» Lors de la mise en charge, l'induit débitant, nous savons qu'il est nécessaire de décaler les balais d'un angle λ . Il faut considérer isolément l'action des spires comprises dans l'angle λ et celle des autres, par décomposition de la force magnétomotrice que le décalage introduit dans la circulation magnétique.

» Les spires comprises dans l'angle λ donnent une force magnétomotrice de $4\lambda mI$ dans les notations d'Hopkinson. Les diagrammes de la figure 1 représentent le schéma des circulations de flux, à vide

Fig. 1.



et en charge. $\mathcal{R}_1$ est la réluctance de l'inducteur; $\mathcal{R}_u$ la réluctance utile (entrefer et fer induit); $\mathcal{R}_2$ la réluctance du circuit de fuites de l'inducteur; les flux Φ , affectés d'un accent pour les valeurs en charge, portent les mêmes indices.

» La force magnétomotrice $4\lambda mI$ agit sur les deux circuits $\mathcal{R}_1$ et $\mathcal{R}_2$ qui sont, par rapport à elle, en parallèle. En appliquant une formule déduite des lois de Kirchhoff et autrefois donnée par M. Pollard (1) pour les piles électriques, on peut écrire immédia-

Une pile de force électromotrice ε , et de résistance ρ , shuntée par une résistance r , agit sur un circuit extérieur R comme si ε et ρ étaient réduits tous deux

tement que son action sur $\mathcal{R}_1$ est $4\lambda m I \frac{\mathcal{R}_2}{\mathcal{R}_u + \mathcal{R}_2}$. C'est une force magnétomotrice opposée à celle de l'inducteur. Son effet est double : affaiblissement du flux utile, augmentation du flux perdu.

» 1° Elle affaiblit le flux total Φ_1 ; mais on peut ramener celui-ci à la valeur primitive en augmentant d'une quantité équivalente les ampères-tours de l'excitation.

» 2° Le flux total Φ_1 est bien ainsi récupéré; mais sa répartition en flux utile et flux dispersé n'est plus la même qu'à vide. En effet, la force magnétomotrice sur l'inducteur ayant été augmentée de $4\lambda m I \frac{\mathcal{R}_2}{\mathcal{R}_u + \mathcal{R}_2}$, la dispersion a augmenté proportionnellement, et le flux utile diminué d'autant. Cette variation est

$$4\lambda m I \frac{\mathcal{R}_2}{\mathcal{R}_u + \mathcal{R}_2} \frac{1}{\mathcal{R}_2} = \frac{4\lambda m I}{\mathcal{R}_u + \mathcal{R}_2}.$$

» La caractéristique en charge peut donc s'écrire

$$(1) \quad \Phi_u + \frac{4\lambda m I}{\mathcal{R}_u + \mathcal{R}_2} = f\left(4\pi ni - 4\lambda m I \frac{\mathcal{R}_2}{\mathcal{R}_u + \mathcal{R}_2}\right).$$

» L'équation que nous obtenons ainsi par de simples raisonnements physiques n'est rien autre chose que l'équation d'Hopkinson, de qui les notations ont été conservées à dessein, sauf que les réluctances y sont mises en évidence au lieu du coefficient ν .

» En effet, Hopkinson écrit

$$(2) \quad \Phi_u + \frac{\nu - 1}{\nu} \frac{1}{\mathcal{R}_u} 4\lambda m I = f\left(4\pi ni - 4\lambda m I \frac{1}{\nu}\right).$$

» En remarquant que ν est, par définition, égal à $\frac{\Phi_u + \Phi_2}{\Phi_u}$ ou à $1 + \frac{\mathcal{R}_u}{\mathcal{R}_2}$, on identifie immédiatement les deux équations.

» C'est de la représentation graphique de ces fonctions que nous allons tirer parti, en leur conservant la forme où les réluctances sont mises en évidence.

dans le rapport $\frac{s}{\rho + s}$. Donc

$$I_R = \frac{\epsilon \frac{s}{\rho + s}}{R + \rho \frac{s}{\rho + s}}.$$

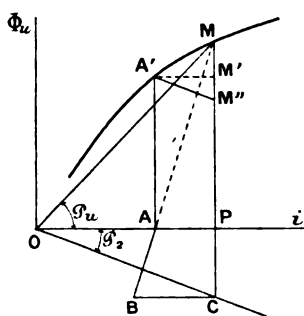
» Hopkinson a bien indiqué, dans ses *Mémoires*, une traduction graphique de ces formules; mais elle ne peut être d'aucune utilité, parce qu'elle est établie à trois dimensions, et surtout parce qu'elle suppose la valeur de v constante ou connue d'avance pour chaque point. La constance n'est rien moins que certaine et, en tous cas, pas générale. Quant au calcul préalable de v , aucun moyen n'est indiqué pour y parvenir.

» Le tracé que nous allons développer paraît beaucoup plus satisfaisant.

II.

» *Construction.* — Parmi les quantités auxquelles est proportionnelle la force électromotrice, et qui peuvent être prises comme ordonnées de la caractéristique, nous choisissons, comme la plus féconde en déductions utiles, les flux. Soit (*fig. 2*) une caractéris-

Fig. 2.



tique; MP est un flux. Le coefficient angulaire de OM, c'est-à-dire $\tan \text{MOP}$, étant le quotient d'un flux par une force magnétomotrice, est une *perméance*. C'est celle du circuit correspondant à l'état défini par les coordonnées OP et PM. De même, $\tan \text{MO}\Phi$ est la *réductance* correspondante.

» On peut décomposer la caractéristique principale en ses composantes partielles. Considérons ici celle qui se rapporte à l'entrefer et à l'induit seuls; la valeur de $\tan \text{MOP}$ sera ainsi $\mathcal{P}_u$.

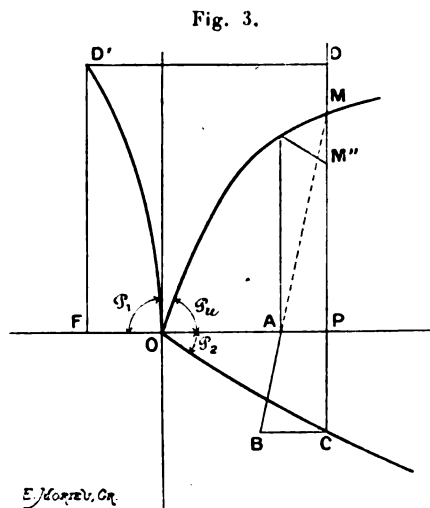
» Pour avoir, sur la même épure, les flux de dispersion d'inducteur, traçons au-dessous de OP une droite, dont l'inclinaison sera $\mathcal{P}_2$, perméance de ce circuit de fuites. PC sera le flux perdu pour l'excitation OP. Le tracé est alors le suivant :

» Par un point M, défini par l'excitation $OP = 4\pi ni$, menons MC. En C, portons horizontalement $CB = 4\lambda mI$, et joignons BM; cette ligne coupe l'axe en A. Élevons l'ordonnée AA' , et de A' menons $A'M''$ parallèle à OC. Le point M'' est le point cherché qui donne le flux utile, à la charge I et au décalage λ , pour l'excitation OP.

» En effet, AP est bien $4\lambda mI \frac{\mathcal{R}_2}{\mathcal{R}_u + \mathcal{R}_2}$. Donc MM' est la perte de flux due à la réaction directe, $M'M'' = AP \times \frac{1}{\mathcal{R}_2}$ est bien égal à $\frac{4\lambda mI}{\mathcal{R}_u + \mathcal{R}_2}$. C'est la perte de flux utile, due à l'augmentation du flux de dispersion d'inducteur.

» L'ensemble des points M'' , ainsi déterminés en supposant I et λ constants, conduit à la courbe des forces électromotrices en charge, en fonction de l'excitation.

» Pour tenir compte de l'inducteur, nous devons porter, à gauche de l'axe vertical, par exemple, la caractéristique propre de l'inducteur (fig. 3) OD' . Le flux total à développer est CM'' , dont PM'' utile,



qui nécessite une excitation OP pour l'entrefer et l'induit. Pour avoir l'excitation nécessaire à l'inducteur, il suffit de reporter CM' en PD; puis, menant DD' et $D'F$, on obtient en FO la quantité cherchée.

» On obtient ainsi sur l'épure : la force magnétomotrice totale FP, le flux total CM'' et le flux utile PM'' au régime considéré.

» La même construction serait évidemment à répéter pour tous les graphiques suivants (1).

» L'hypothèse I et λ constants, quelle que soit l'excitation, n'est admissible, en matière de courants continus, que pour une variation faible de l'excitation.

» Mais remarquons que tout ce qui a été dit ci-dessus subsiste entièrement s'il s'agit de la carcasse d'un alternateur. Il suffit de donner les symboles convenables à la force magnétomotrice de l'induit, et d'écrire, au lieu de $4\lambda mI$, l'expression $4\pi KNI\sqrt{2}\sin\psi$, où ψ est le décalage, I le courant dans l'induit et K le coefficient qui tient compte de la répartition du fil dans les rainures, et des phases s'il y a lieu. Le décalage λ des balais d'une machine continue et le décalage ψ du courant d'un alternateur, déterminés par des causes de même nature, ont des conséquences absolument du même ordre en ce qui concerne la réaction de l'induit. Dans un alternateur, I et ψ peuvent avoir une valeur constante dans toute l'étendue de l'échelle des excitations, et la courbe déterminée par l'ensemble des points M'' a une signification très précise.

» Particulièrement pour $\psi = \frac{\pi}{2}$, elle donnera la force électromotrice en courant complètement déwatté.

» *Déplacement parallèle.* — Cette courbe est-elle parallèle à la caractéristique principale? M. Potier a trouvé que ce parallélisme est assez parfait, pour la courbe figurative de la différence de potentiel aux bornes, dans le cas de fonctionnement en courant exclusivement déwatté. Cependant, si l'on se reporte aux équations ci-dessus, on voit que le parallélisme n'existerait que pour des valeurs constantes de $\mathcal{P}_u$ et de $\mathcal{P}_2$; et ces mêmes équations donneraient immédiatement le déplacement en ordonnée et abscisse.

» Mais la constance de ces quantités n'est qu'un fait approximatif. La courbure de la caractéristique Φ_u résulte précisément de la variation de la perméance utile $\mathcal{P}_u$.

(1) Cette construction relative à l'inducteur est due à M. Potier, qui ne l'a pas publiée jusqu'ici. Elle m'a été signalée aussitôt après la Séance du 4 juin par M. Guilbert. Avec sa bienveillance habituelle, M. Potier m'a autorisé à l'introduire dans le texte de ma Communication, dont elle forme un important complément.

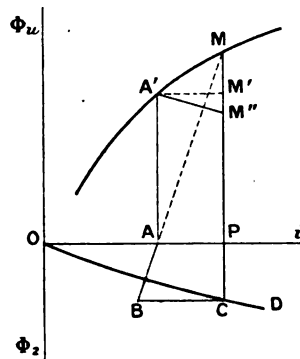
» Quant à Φ_2 , dans les tracés qui précèdent, nous l'avons bien supposée constante, mais uniquement pour simplifier l'exposé. Le circuit de dispersion peut contenir du fer qui n'appartient pas au circuit principal. Pour envisager un cas général, j'indique ci-après le tracé complet.

» Le parallélisme du déplacement, constaté expérimentalement, ne semble donc être qu'approximatif; du moins ne semble-t-il pas possible de donner à cette remarquable propriété une base logique cherchée dans la théorie des circuits magnétiques.

» *Tracé exact.* — On doit considérer que le tracé de la figure 2 ne donne qu'une approximation et que, pour avoir une valeur plus exacte, il faut tenir compte de la variation de réluctance du fer faisant partie du circuit de dispersion de l'inducteur.

» A la droite OC de la figure 2 il faut donc substituer une certaine courbe OD (*fig. 4*), tenant compte de cette variation.

Fig. 4.



» Or, cette courbe n'est autre chose que la *caractéristique propre du circuit de dispersion de l'inducteur*, ce qui résulte, de toute évidence, de ce que chacune de ses ordonnées (portées ici négativement) a pour valeur le flux de dispersion correspondant à l'excitation mesurée par l'abscisse.

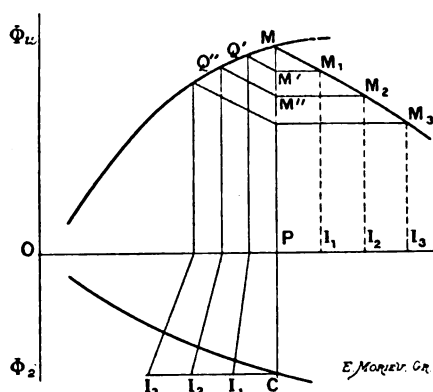
» Les lignes telles que MC représentent donc le flux total à vide dans l'inducteur, dont CP est la partie dispersée et PM la partie utile.

» La construction de la figure 3, répétée ici, donnera donc

une traduction exacte de la formule (1), qui sera rigoureusement applicable aux machines continues comme aux alternateurs, pourvu que dans ce dernier on évalue exactement, en courant déwatté, la force magnétomotrice de réaction *directe* de l'induit.

» La figure 5 permet donc d'établir la courbe MM_1M_2 des forces

Fig. 5.

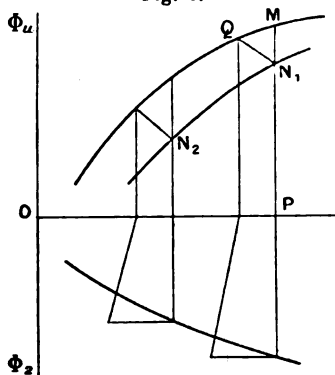


électromotrices en charge, en fonction des débits PI_1 , PI_2 , pour une excitation indépendante mesurée par OP plus les ampères-tours propres de l'inducteur pour le flux MC, M'C, etc.

» Les points M', M'' sont obtenus comme à la figure 4, et la courbe MM_1M_2 s'obtient par rabattement autour de MP , en portant les intensités I_1, I_2 à partir du point P .

» De même, on obtient (*fig. 6*) la caractéristique de force électro-

Fig. 6.



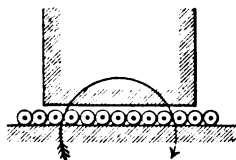
motrice en courant constant, exclusivement dévatté. La courbe des

différences de potentiel aux balais ne diffère de la précédente que par une réduction de chaque ordonnée égale à ωLI , due à la self-induction. Si la valeur de L est pratiquement constante, c'est un simple abaissement vertical. Si, de plus, la variation de $\mathfrak{A}_2$ et $\mathfrak{A}_u$ n'est pas trop grande, la caractéristique en charge sera elle-même, à très peu près, identique de forme à la caractéristique à vide; et la tension aux bornes pourra se représenter pratiquement par un simple déplacement oblique de la caractéristique, comme l'a remarqué M. Potier.

III.

» *Réaction transversale et perte de flux utile correspondante.* — Il faut examiner maintenant l'effet des ampères-tours induits qui sont non plus opposés, mais en quadrature avec le champ principal. J'ai signalé autrefois qu'il était impossible que la distorsion n'eût pas pour conséquence une diminution de flux utile. J'ai pu, à ce moment, exagérer l'importance de cette action; aujourd'hui, un tracé exact qui va être indiqué me permettra de trouver tout à la fois la grandeur de cette diminution, en même temps que la valeur du flux transversal.

Fig. 7.



» C'est ici la caractéristique principale qui va donner cette solution d'une manière très simple.

» Le flux total est composé de l'ensemble des flux d'une infinité de tubes de force parallèles, que l'on peut admettre de même longueur et composés des mêmes éléments en les mêmes proportions. A vide, tous ces tubes, soumis à la même excitation, donnent des flux égaux, définis, tous et chacun, par le point de la caractéristique correspondant à l'excitation commune.

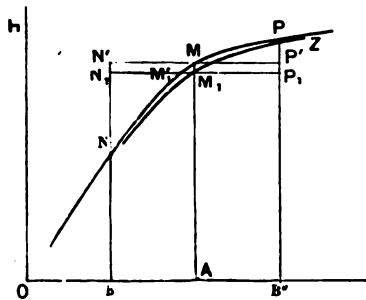
» Mais, si les excitations sont supposées devenir différentes pour deux de ces tubes de force, le flux, dans chacun d'eux, sera aussi différent, et défini par les points de la caractéristique correspondant à leurs excitations respectives.

» Or, c'est précisément la condition qui se présente, en charge, pour les tubes de force aboutissant à l'induit. Tout le long de la face qui regarde le pôle, le courant induit crée une variation progressive de l'excitation qui donne naissance à la distorsion bien connue du champ.

» Cette simple remarque donne la clef de la construction suivante (*fig. 8*).

» Pour un régime connu, soit OA l'excitation portée par l'induc-

Fig. 8.



teur. Elle détermine le *champ moyen* AM sous la face polaire: champ uniforme à vide, mais non plus en charge. Calculons maintenant les ampères-tours transversaux, qui sont $4\left(\frac{\pi}{2} - \lambda\right)mI$, ou $4\pi KNI \sin \psi$; et portons-les par moitié à droite et à gauche du point A, en B', B''. Cette ligne peut être aussi considérée comme proportionnelle à la largeur γ de la pièce polaire, de sorte que le rectangle B'N'P'B'' représente le flux à vide. La valeur de la force magnétomotrice, en chaque point de l'arc polaire, est donnée par l'abscisse correspondante; elle est donc OB' et OB'' aux cornes polaires, et le champ, en ces points, est proportionnel à B'N et B''P.

» Le flux, avant distorsion, avait pour valeur la surface du rectangle de base B'B'' et de hauteur AM. Mais la distorsion a pour effet de varier le champ sous le pôle suivant la loi définie par la courbe NP.

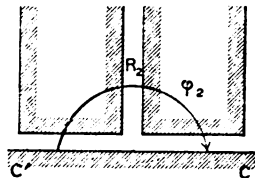
» Il est donc représenté maintenant par B'N P B'', et cette surface est inférieure à celle du rectangle primitif.

» Les triangles NN'M et MPP' représentent les flux entrant et sortant sous l'action de la force magnétomotrice transversale. Or

ces flux ne peuvent être qu'égaux; et, comme les triangles ne le sont pas, on est conduit à cette conséquence forcée que la ligne $N'P'$ doit être abaissée jusqu'à ce qu'ils le soient devenus. Soit N, P , sa nouvelle position; cette ligne coupe la courbe en M' , et la perte de flux cherchée est MM' . Pour la connaître, il faut donc faire la quadrature des triangles $NN'M$ et MPP' ; divisant leur différence par la base $B'B''$, on obtient la chute MM' . Le triangle $M'NN'$ donne alors la valeur vraie du flux transversal Φ_t .

» Cette construction permet donc d'obtenir d'abord la perte de flux due à la torsion du champ; puis la valeur Φ_t du flux trans-

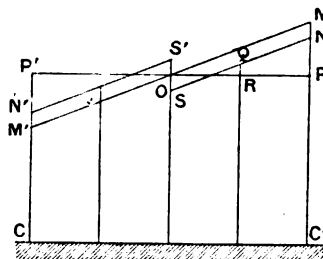
Fig. 9.



versal. Celle-ci n'a pas grand intérêt en courant continu, mais est fort importante à connaître pour la détermination de la tension aux bornes d'un alternateur.

» Il est aujourd'hui d'usage fréquent, au moins dans les dynamos continues, de faire une *coupure* de la pièce polaire, pour diminuer, dans la mesure du possible, la réaction transversale et le décalage; il est encore facile de tenir compte de son effet. Au lieu d'une seule construction, il en faut alors faire deux, en prenant pour axes deux ordonnées telles que OA , équidistantes de celles-ci, et dont on détermine ainsi la position (fig. 9 et 10).

Fig. 10.



CC' étant l'arc polaire développé; en l'absence de coupure axiale

du pôle, la ligne M'M représenterait la répartition du potentiel magnétique à sa surface. Mais la coupure provoque une chute SS' dont la valeur est $\mathcal{R}'_2 \varphi_2$, en appelant $\mathcal{R}'_2$ la réluctance de la coupure et φ_2 le flux qui la traverse. La répartition du potentiel est alors N'S'S N, et, ce qu'il faut déterminer, c'est la valeur aux points Q et Q', milieux des demi-arcs polaires.

» Le flux transversal qui prendrait naissance sans coupure est facile à calculer; en appelant $\mathcal{F}_m$ la force magnétomotrice totale sous le pôle et $\mathcal{R}'_1$ la réluctance de l'entrefer simple sous une demi-pièce polaire, ce flux aurait pour valeur $\varphi_0 = \frac{\mathcal{F}_m}{2\mathcal{R}'_1}$ et serait représenté par le triangle OMP. Après coupure, il ne passe plus, au travers d'elle, que le flux $\varphi_2 = \frac{\mathcal{F}_m}{2\mathcal{R}'_1 + \mathcal{R}'_2}$, lequel est évidemment représenté par le rectangle OMNS.

» On en déduit aisément que la chute S'S a pour valeur $\mathcal{F}_m \frac{\mathcal{R}'_2}{2\mathcal{R}'_1 + \mathcal{R}'_2}$, et que

$$QR = \frac{1}{4} \mathcal{F}_m \frac{2\mathcal{R}'_1}{2\mathcal{R}'_1 + \mathcal{R}'_2}.$$

» Le nombre d'ampères-tours correspondant s'en déduit immédiatement; et c'est ce nombre qu'il faut ajouter et retrancher à l'abscisse OA de la figure 8 pour avoir les abscisses OB' et OB'' qui correspondront aux milieux de chaque demi-face polaire. Le reste du calcul s'achève comme précédemment.

V.

» *Tracé définitif des courbes de la force électromotrice en charge.*

— On peut reprendre maintenant avec une plus grande approximation le tracé des courbes des figures 5 et 6. Étant en mesure d'évaluer l'effet complet de la réaction transversale, nous en tenons compte pour corriger chaque point de la caractéristique à vide de la quantité correspondante. Les tracés devraient donc se faire par rapport aux courbes ainsi corrigées. La figure 6 serait donc à construire sur la courbe Z de la figure 8, établie pour une valeur constante de $I\left(\frac{\pi}{2} - \lambda\right)$ ou $I \sin \psi$.

» Dans la figure 5, il faudrait abaisser chaque point Q' , Q'' de la quantité correspondante à la perte de flux due à ce courant particulier et au décalage correspondant.

» En pratique courante, on ne commettra qu'une erreur négligeable, dans l'un et l'autre cas, en abaissant les points M' et M'' ou N_1 , N_2 des figures 5 et 6, de quantités égales à la perte de flux mesurée par la construction de la figure 8.

» On est donc ainsi en état de représenter graphiquement les valeurs de la force électromotrice vraie dans toutes les conditions possibles de courant, de décalage et d'excitation indépendante.

V.

» *Différence de potentiel aux bornes. Self-induction.* — En courant continu, ce qui précède permet un tracé immédiat, puisqu'il suffit de retrancher RI de E pour obtenir U , en excitation indépendante.

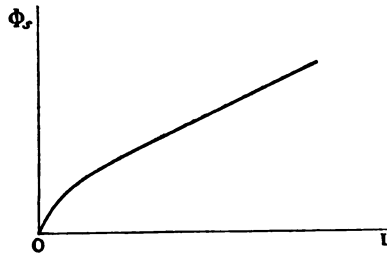
» Pour passer au cas de l'auto-excitation il suffit d'utiliser les tracés très simples que j'ai indiqués en 1887 (¹). On peut donc considérer la prédétermination comme complète dans la limite où l'on sait apprécier la valeur du décalage λ , en fonction de I . En courant alternatif, le décalage ψ peut être quelconque, étant déterminé non seulement par les conditions intérieures, mais aussi par celles extérieures à la machine. Il faut néanmoins tenir compte de la self-induction de la machine elle-même, ce qui introduit un nouvel élément.

» Le flux de self-induction dépend encore de l'excitation, ici proportionnelle à I , et de la perméance du circuit propre à ce flux. Dans les machines où la denture est franchement ouverte, cette perméance peut être considérée comme constante. Elle est alors assez facilement calculable; le flux et la force électromotrice correspondante en découlent immédiatement. Ce n'est que pour les machines à denture plus moins complètement fermées qu'il peut y avoir nécessité de s'aider, pour la détermination de ces quantités, de la *caractéristique propre du circuit de dispersion de l'induit* (fig. 11).

(¹) *La Lumière électrique*, t. XXIII, p. 62.

C'est la dernière des courbes fondamentales dont l'emploi forme la base de toute cette étude.

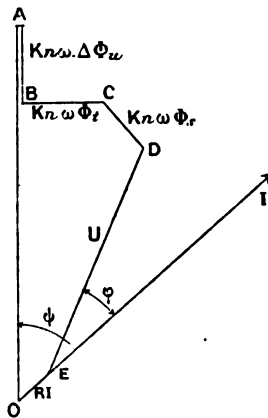
Fig. 11.



» La détermination de U résultera finalement du diagramme de la figure 12. Dans cette figure, OA étant la force électromotrice à vide, AB est la perte correspondant à $\Delta\Phi_u$, et due à l'action cumulée des contre-ampères-tours et de la perte due à la torsion du champ; BC est la réaction transversale du courant watté; CD est l'action de la self-induction de la source, normale à OI . Enfin, OE étant la perte ohmique RI , on obtient en ED la valeur cherchée de U .

» On peut ainsi établir la loi des variations de U avec I pour un

Fig. 12.



décalage ψ donné. Malheureusement, c'est, en général, non pas ψ (décalage EI), mais bien φ (décalage UI) qui est donné. Or, il n'est évidemment pas possible de prendre ce dernier comme point de départ du tracé. On devra donc calculer φ *a posteriori* en partant d'une valeur ψ supposée convenable et opérer par approximation. Aucune des méthodes connues n'échappe à cette petite difficulté.

VI.

» *Effet des amortisseurs.* — Dans les alternateurs pourvus de l'amortisseur de M. Leblanc, il faut tenir compte de l'action de cet organe.

» Analysons cette action : Le flux de réaction de l'induit pénètre en partie dans l'amortisseur et y développe des courants induits qui donnent à leur tour une contre-réaction. Ce flux d'amortisseur peut se décomposer en deux composantes tournantes, et l'on a : 1° Une composante tournant en sens inverse de la rotation, et qui provoque des courants induits de fréquence double de la fréquence normale. Cette composante peut donc déformer les courbes, mais sans changer la valeur moyenne pour une demi-période. Comme cette dernière moyenne est la seule à considérer pour les réactions magnétiques, nous voyons que cette composante est d'effet négligeable en ce qui nous occupe. 2° La composante qui tourne dans le sens de l'inducteur, et avec la même vitesse, reste fixe sur lui. Elle donne un flux opposé au flux de réaction, donc de même sens que le flux inducteur.

» La composante déwattée de ce dernier flux équivaut donc à un surcroît de flux utile, dû au surplus d'excitation provoqué par le courant déwatté de l'amortisseur.

» Si le système transformateur *induit-amortisseur* était parfait, chaque composante tournante étant égale à la moitié du champ résultant, ces valeurs de l'augmentation d'excitation serait la moitié de la perte provoquée par la réaction d'induit. Mais il n'en est pas ainsi, et au lieu de 0,5 on aura une fraction α inférieure à 0,5. Les ampères-tours démagnétisants sont alors seulement

$$4 \pi K N I \sqrt{2} \sin \psi (1 - \alpha) \frac{R_2}{R_n + R_2}.$$

» Quant à la dispersion sur l'inducteur, elle reste ce qu'elle serait sans amortisseur, car il n'importe pas, au point de vue du flux dispersé, si les ampères-tours viennent de l'excitatrice ou de l'amortisseur. Leur total seul importe, et comme il est indépendant de la présence de l'amortisseur, la dispersion ne change pas. Il n'est donc qu'à moitié exact de dire que l'amortisseur parfait réduirait à moitié

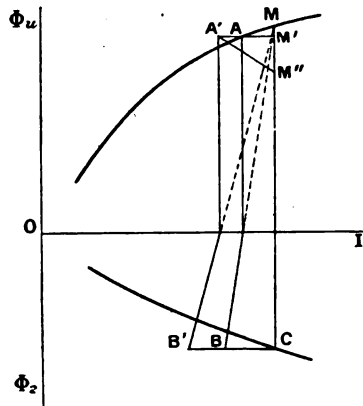
la réaction de l'induit. Il réduit bien les ampères-tours démagnétisants, mais reste sans effet sur la dispersion d'inducteur.

» L'équation modifiée est donc

$$(3) \quad \Phi_u + \frac{4\pi KNI\sqrt{2}\sin\psi}{\mathcal{R}_u + \mathcal{R}_2} = f\left[4\pi ni + 4\pi KNI\sqrt{2}\sin\psi(1-\alpha)\frac{\mathcal{R}_2}{\mathcal{R}_u + \mathcal{R}_2}\right].$$

» Le tracé de la figure 13 donne la traduction graphique correspondante.

Fig. 13.



» Si CB' est la réaction déwattée de l'induit, OB en étant la fraction $(1-\alpha)$, on obtient le point A ; mais il faut mener $A'M'$ horizontale par A , et de A' mener $A'M''$ parallèle à OC . On a en M'' le point cherché, car

$$M'M'' = A'M' \mathcal{R}_2 = B'C \frac{\mathcal{R}_2}{\mathcal{R}_u + \mathcal{R}_2} \mathcal{R}_2 = B'C \frac{1}{\mathcal{R}_u + \mathcal{R}_2}.$$

» La composante *wattée* du courant dans l'amortisseur est aussi directement opposée à celle du courant principal. Elle diminue donc aussi le flux transversal Φ_t dans le rapport $(1-\alpha)$; et il y aurait lieu d'en tenir compte également dans le diagramme vectoriel qui donne U .

» Malheureusement il est assez difficile de prévoir quelle pourra être la valeur du coefficient α que le calcul ne peut donner avec une précision suffisante.

» Les alternateurs non pourvus d'amortisseurs, mais dont les épanouissements polaires sont massifs, éprouvent une action analogue. Un amortissement moins parfait est encore produit par les

courants de Foucault induits sur ces faces polaires. Mais la résistance qu'ils y rencontrent atténue sensiblement leur valeur et leur effet d'amortissement. Il ne semble guère possible d'en tenir compte dans les tracés, avec une chance quelconque d'exactitude.

VII.

» *Vérifications expérimentales.* — Les vérifications expérimentales sont, en ce moment, difficiles, parce que, même pour les machines les mieux connues, on ne dispose pas des courbes figuratives de la qualité du fer qui entre dans leur construction. Or, il est bien évident, d'après ce qui précède, que c'est là l'élément primordial des déterminations. J'ai cherché à le faire, dans la mesure du possible, avec les rares données un peu insuffisantes que j'ai eues à ma disposition.

» *Machines à courant continu.* — Dans son travail capital, J. Hopkinson (1) a publié une vérification indirecte de sa formule, obtenue par relevé de la répartition du champ en charge, et calcul du flux utile correspondant.

» Les données principales sont :

Machine bipolaire, prévue pour 140 volts, 80 ampères.

Inducteurs, 3968 spires.

Induit, 104 spires.

» Conditions d'essai : excitation faible et courant fort, pour exagérer à dessein la réaction :

$I = 102,5$ ampères.

$i = 1,78$ ampère.

$N = 880$ tours par minute.

e , à vide 90 volts.

e , en charge 70,8 volts.

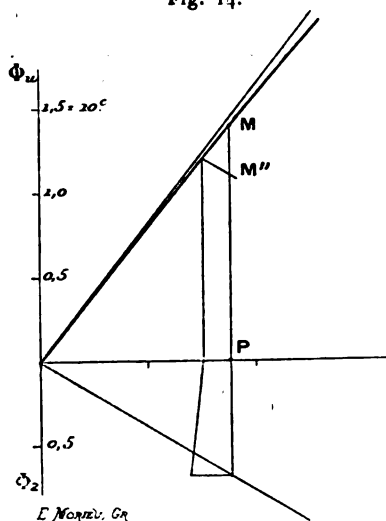
v , mesuré 1,47.

» Les ampères-tours de l'inducteur, au régime de l'expérience, sont négligeables dans ce cas, comme dans le suivant.

(1) J. HOPKINSON, *Original papers*, p. 134 et suivantes.

» La figure 13, la réduction d'une épure à plus grande échelle,

Fig. 14.



tracée sur les données qui précèdent, donne la valeur, pratiquement exacte, de 70 volts.

» Dans une Communication faite à la Société en 1899, j'ai appelé l'attention sur la réaction transversale, comme agent de réduction du flux utile, en prenant comme exemple une machine particulière, en régime de débit forcé, machine dont les croquis et les données principales figurent au *Bulletin* (1). J'ai appliqué à cette dynamo les tracés nouveaux, avec le résultat indiqué figure 14. Le courant était 150 ampères; le décalage 24°. La valeur de ν , à l'excitation normale, mesurée au balistique était 1,18.

» La courbe de chute de la force électromotrice (fig. 15) figurée en MM_2 , coïncide très approximativement avec la courbe relevée. Au point 150 ampères, on a mesuré aux balais 19 volts de chute. Il faut en déduire l'effet de la résistance intérieure

$$0,0205 \text{ ohm} \times 150 \text{ ampères} = 3,1 \text{ volts,}$$

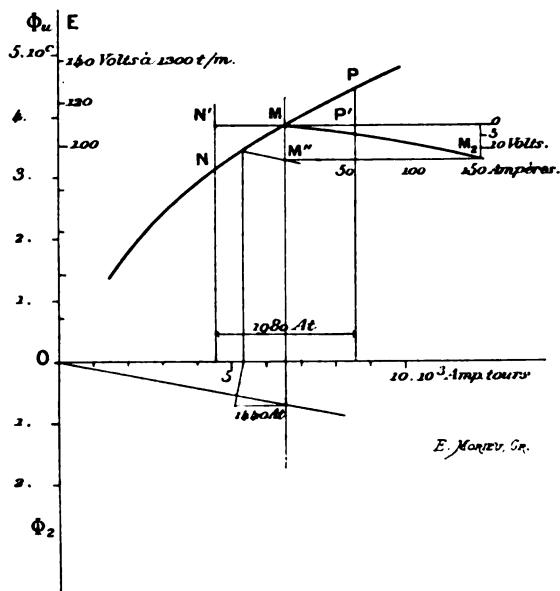
et plus probablement 3,5 pour tenir compte des courants de Foucault. Restent 15,5 volts mesurés. L'épure donne 15.

» La même figure montre l'évaluation de l'effet de réaction trans-

(1) *Bulletin de la Soc. intern. des Électriciens*, 1899, p. 162.

versale. La perte de flux utile est égale à la différence des surfaces triangulaires MNN' et MPP' . Il est évident que cette différence est ici insignifiante et que, dans la Communication de 1899, j'ai interprété d'une manière inexacte les résultats de l'essai avec électros

Fig. 15.



auxiliaires en action. Je me réserve d'ailleurs de revenir ultérieurement sur ce point.

» *Alternateur.* — La machine de ce genre la mieux connue est l'alternateur Leblanc, du secteur des Champs-Élysées, grâce aux mesures de M. Guilbert et aux travaux de M. Potier ⁽¹⁾.

» Bien que ne connaissant pas la qualité du fer employé, on peut néanmoins essayer d'établir la caractéristique de dispersion. Pour cela on opère à l'inverse et l'on déduit la courbe de la tôle de la forme même de la caractéristique, en en retranchant la partie d'excitation nécessitée par l'entrefer.

» Malheureusement on n'arrive ainsi qu'à des résultats très incertains, et les vérifications que j'ai tentées sur cette machine ne

⁽¹⁾ Voir *Éclairage électrique*, 1900, t. XXIV, p. 133.

peuvent pas être considérées comme ayant un degré d'approximation acceptable.

» La présence de l'amortisseur vient encore augmenter la difficulté, la valeur de α n'étant pas connue.

» La méthode qui vient d'être exposée est fondée sur une généralisation de l'emploi des caractéristiques; mais elle n'est possible que grâce au choix des flux magnétiques comme variable principale de chacune d'elles, et non des forces électromotrices correspondant à une vitesse donnée.

» Les caractéristiques utilisées sont :

» Celle du circuit principal; celle du circuit utile, entrefer et induit; et son complément celle de l'inducteur; celle du circuit de dispersion de l'inducteur; celle du circuit de dispersion de l'induit.

» La seule quantité à connaître, en plus du dessin géométrique de la machine, est la qualité magnétique exacte des matériaux employés. Il reste, comme point particulièrement délicat, l'évaluation correcte des réluctances de dispersion, évaluation assez simple sur quelques formes de machines, tandis qu'elle est assez délicate sur d'autres. Ces difficultés ne sont pas insurmontables, et aucune méthode de véritable prédétermination ne semble pouvoir éviter de les aborder.

» Celle qui vient d'être exposée m'a paru serrer la vérité de plus près que ses devancières; son caractère graphique lui donne une simplicité qui sera sans doute appréciée, et, telle quelle, j'espère qu'elle pourra rendre quelques services aux constructeurs de matériel électrique. »

M. le PRÉSIDENT exprime ses remerciements à M. Picou.

QUELQUES APPLICATIONS D'ALTERNATEURS COMPOUNDS.

M. BOUCHEROT. — « Les procédés de compoundage des alternateurs sont, comme vous le savez, Messieurs, très nombreux... sur le papier. Mais, soit que beaucoup d'entre eux présentent des vices rédhibitoires, soit que leurs auteurs n'aient pas su les mettre au point, le nombre de ceux qui ont reçu la sanction de l'expérience est très limité.

» Encore plus restreint est le nombre de ceux qui ont eu la sanction de la pratique, c'est-à-dire de l'expérience renouvelée chaque jour avec succès, dans les conditions définitives de l'application, en présence de difficultés nombreuses auxquelles on se heurte dans cette application.

» Le système de compoundage que j'ai l'honneur de vous présenter ce soir fait partie de cette catégorie restreinte, ainsi que vous pourrez en juger par le nombre et la diversité des réalisations dont il a été l'objet. J'avais l'intention de vous le présenter déjà il y a plus d'un an sous la forme concrète de l'alternateur de 1000 chevaux exposé par la Maison Breguet à l'Exposition de 1900. Mais, pour diverses raisons, cet alternateur n'a fonctionné que deux fois en compound à l'Exposition; le reste du temps il a fonctionné en excitation séparée; il en est résulté que les bruits les plus fâcheux ont circulé sur son compte et me sont revenus. J'ai préféré alors attendre qu'il y en ait d'autres pour en parler.

» Les faits que j'exposerai tout à l'heure répondent suffisamment par eux-mêmes à diverses opinions erronées qui ont été émises au sujet de ce compoundage.

» D'autre part, la distinction dont l'Académie des Sciences a bien voulu m'honorer il y a quelques mois me dispense d'insister sur le caractère original et personnel de cette invention (1).

(1) En ce qui concerne le problème général du compoundage des alternateurs, je ne crois pas inutile de rappeler que j'ai breveté en 1894 et 1895, et fait connaître à la Société en 1898, deux dispositions d'alternateurs auto-exciteurs compounds. Seule la cherté des condensateurs a été un obstacle à leur réalisation industrielle, mais ces dispositions n'en constituaient pas moins des solutions *théoriquement parfaites* du problème.

THÉORIE.

» Je commencerai par faire la théorie de ce compoundage, que j'ai déjà exposée, mais moins complètement, dans l'*Industrie électrique* ⁽¹⁾, dans l'*Éclairage électrique* ⁽²⁾ et dans une Communication au Congrès international d'Électricité de 1900.

» Tout procédé de compoundage d'alternateur synchrone doit comporter un organe intermédiaire entre le courant alternatif de l'induit et le courant continu d'excitation de l'inducteur, organe auquel on peut donner, par extension, le nom d'*excitatrice*. Cette excitatrice doit être telle que le courant alternatif, circulant dans une de ses parties, soit proportionnel au courant continu que fournit l'autre partie aux inducteurs de l'alternateur; cette proportionnalité doit exister aussi bien pour les intensités que pour les différences de potentiel; autrement dit, la résistance des inducteurs de l'alternateur étant une constante, ou à peu près, la *résistance apparente* des circuits de l'excitatrice qui sont le siège des courants alternatifs doit également être constante dans les limites de l'application.

» L'excitatrice dont je me sers est une dynamo à enroulements sinusoïdaux. Elle comprend une partie fixe qui reçoit les courants alternatifs et qui est identique comme constitution à un stator de moteur à champ tournant, et une partie mobile qui a extérieurement l'apparence d'un induit de dynamo à courant continu, mais qui en diffère en ce que, au lieu d'avoir un enroulement réparti uniformément tout autour de l'anneau de tôles, elle en possède 2, 3 ou n , dans chacun desquels les nombres de spires des sections élémentaires varient autour du noyau selon une fonction sinusoïdale de l'angle de position de ces sections sur l'anneau.

» Pratiquement, l'emploi de deux enroulements sinusoïdaux décalés d'un angle tel que les forces électromotrices induites y soient déphasées de 90° est suffisant, et il n'est pas nécessaire de recourir à 3 ou n enroulements sinusoïdaux.

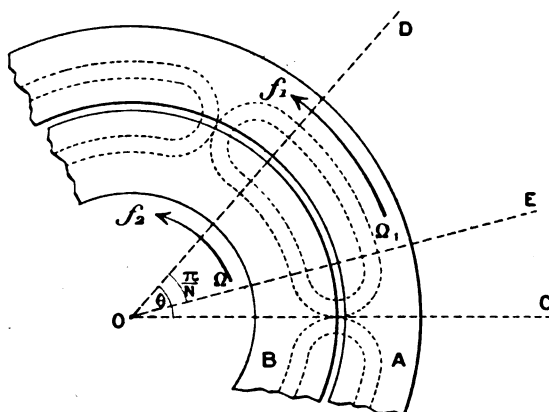
» *Force électromotrice continue de l'excitatrice.* — Représentons

⁽¹⁾ *Industrie électrique* du 25 juillet 1900.

⁽²⁾ *Éclairage électrique* du 1^{er} décembre 1900.

les deux anneaux de tôles du stator A et du rotor B (fig. 1); le stator

Fig. 1.



étant supposé à N pôles, les N champs qui traversent les deux parties tournent dans le sens de la flèche f_1 avec une vitesse Ω_1 , par rapport au stator et avec une vitesse $(\Omega_1 - \Omega)$ par rapport au rotor, celui-ci tournant à une vitesse Ω dans le sens de la flèche f_2 .

» Supposons qu'à l'origine des temps la position de ces champs soit celle figurée en pointillé. Dans une spire genre tambour enroulée sur le rotor et ayant son axe sur OC, la force électromotrice induite est

$$e(\Omega_1 - \Omega) \sin \frac{N}{2} (\Omega_1 - \Omega)t,$$

e étant la force électromotrice maxima induite dans une spire pour une vitesse $(\Omega_1 - \Omega)$ égale à l'unité, c'est-à-dire $\frac{N}{2} \Phi 10^{-8}$; cette force électromotrice peut donc s'écrire encore

$$\frac{N}{2} (\Omega_1 - \Omega) \Phi 10^{-8} \sin \frac{N}{2} (\Omega_1 - \Omega)t,$$

Φ étant le flux par pôle du stator.

» Dans une spire tambour ayant son axe en OD, c'est-à-dire faisant un angle θ avec celui de la précédente, la force électromotrice induite est

$$e(\Omega_1 - \Omega) \sin \frac{N}{2} [(\Omega_1 - \Omega)t - \theta].$$

» Enfin, dans une spire tambour ayant son axe en OE, à une

demi-distance polaire de la précédente, c'est-à-dire faisant avec l'axe de la précédente un angle DOE égal à $\frac{\pi}{N}$, la force électromotrice induite est

$$e(\Omega_1 - \Omega) \cos \frac{N}{2} [(\Omega_1 - \Omega)t - \theta].$$

» Supposons que nous sectionnions à l'infini l'enroulement, que le nombre de spires de la section ayant son axe en OD soit $p \cos \frac{Nk}{2} \theta d\theta$, que le nombre de spires de la section ayant son axe en OE soit $p \sin \frac{Nk}{2} \theta d\theta$, et que nous placions cette deuxième section en opposition avec la première; la force électromotrice totale sera

$$pe(\Omega_1 - \Omega) d\theta \left\{ \cos \frac{Nk}{2} \theta \sin \frac{N}{2} [(\Omega_1 - \Omega)t - \theta] - \sin \frac{Nk}{2} \theta \cos \frac{N}{2} [(\Omega_1 - \Omega)t - \theta] \right\} \\ = pe(\Omega_1 - \Omega) \sin \frac{N}{2} [(\Omega_1 - \Omega)t - (k+1)\theta] d\theta.$$

» Avant d'aller plus loin, cherchons quelle est exactement la signification de p . Intégrons le nombre de spires pour l'un des enroulements, depuis $\theta = 0$ jusqu'à $\theta = \frac{2\pi}{Nk}$: il vient

$$\int_0^{\frac{2\pi}{Nk}} p \sin \frac{Nk}{2} \theta d\theta = \frac{4p}{Nk}.$$

» Le nombre de spires pour un enroulement du rotor comprises dans un angle $\frac{2\pi}{Nk}$ est donc $\frac{4p}{Nk}$; pour un enroulement et la totalité du rotor, il est alors $4p$ et pour les deux enroulements, $8p$; p est donc le $\frac{1}{8}$ du nombre total P de spires du rotor.

» Relions toutes les sections telles que celle que nous avons constituée à un collecteur, de sectionnement infini pour le moment.

» Entre deux balais fixes placés, l'un sur le rayon OC, l'autre à une distance angulaire ψ , nous recueillerons une force électromotrice

$$E = \int_{-\Omega_1 t}^{-\Omega_1 t - \psi} pe(\Omega_1 - \Omega) \sin \frac{N}{2} [(\Omega_1 - \Omega)t - (k+1)\theta] d\theta,$$

c'est-à-dire,

$$E = \frac{pe(\Omega_1 - \Omega)}{\frac{N}{2}(k+1)} \left\{ \cos \frac{N}{2} [\Omega_1 t + k\Omega t + (k+1)\psi] - \cos \frac{N}{2} (\Omega_1 t + k\Omega t) \right\}.$$

» Si nous donnons à l'angle ψ la valeur $\frac{2\pi}{N(k+1)}$, cette force électromotrice devient

$$E = - \frac{2pe(\Omega_1 - \Omega)}{\frac{N}{2}(k+1)} \cos \frac{N}{2}(\Omega_1 t + k\Omega t).$$

» Elle est continue pour $\Omega_1 = -k\Omega$ et devient :

$$E = \frac{4pe\Omega}{N} = 2p\Omega\Phi 10^{-8}.$$

» En appelant P le nombre total de spires de l'induit, f la fréquence des courants dans le stator ($f = \frac{\Omega_1 N}{4\pi}$), la formule de E peut encore s'écrire

$$E = -\pi \frac{P\Phi f}{kN} 10^{-8}.$$

» Manchonnons l'induit de cette excitatrice sur l'axe d'un alternateur ayant M pôles et donnant des courants de fréquence f pouvant, par conséquent, servir à *exciter* l'excitatrice. La vitesse angulaire de cet alternateur, et par conséquent celle Ω de l'excitatrice seront telles que

$$f = \frac{\Omega M}{4\pi}$$

et comme $f = \frac{\Omega_1 N}{4\pi}$, il en résulte que le rapport $\frac{M}{N}$ entre le nombre des pôles de l'alternateur et de l'excitatrice est égal à $\frac{\Omega_1}{\Omega}$, c'est-à-dire à k au signe près, et que l'on a — $Nk = M$.

» La force électromotrice continue de l'excitatrice devient donc

$$E = \pi \frac{P\Phi f}{M} 10^{-8},$$

Φ étant le flux par pôle dans le stator, E est la force électromotrice que l'on obtiendrait s'il n'y avait pas de fuites magnétiques; pratiquement, la valeur de E obtenue est donc plus petite, et d'autant plus petite que le rotor débite plus de courant, les fuites augmentant sous l'influence de la réaction d'induit.

Nombre de balais. — Ainsi que nous avons vu, l'angle de deux

balais successifs doit être $\frac{2\pi}{N(k+1)}$; le nombre total de balais est donc $n = N(k+1)$, c'est-à-dire, puisque $Nk = M$,

$$n = N + M.$$

» Autrement dit, le nombre de pôles de l'alternateur est égal à la somme du nombre de pôles et du nombre de balais de l'excitatrice. C'est une des raisons pour lesquelles j'emploie de préférence cette excitatrice spéciale : avec une commutatrice ordinaire placée dans les mêmes conditions, la somme du nombre de pôles et du nombre de balais serait double du nombre de pôles de l'alternateur, ce qui rend la réalisation impraticable dans les circonstances ordinaires de l'application.

» Évidemment, n est le nombre de balais théorique : comme dans une dynamo ordinaire à courant continu, on peut relier les lames du collecteur au même potentiel par un connecteur, de manière à réduire en pratique le nombre de rangées de balais, si l'on trouve à cela un avantage.

» *Réaction d'induit.* — Supposons maintenant qu'une telle machine débite un courant continu I dans une résistance. Comme dans une machine à courant continu ordinaire, le courant dans une section quelconque de l'induit est $\frac{I}{n} = i$, le courant recueilli par chaque balai étant

$$2i = \frac{2I}{n}.$$

» Pour la demi-section, dont l'axe est en OD, la force magnétomotrice, dirigée suivant OD, est

$$h_c = \pi i \cos \frac{Nk}{2} \theta d\theta;$$

pour celle dont l'axe est en OE, la force magnétomotrice, dirigée suivant OE, est

$$h_s = -\pi i \sin \frac{Nk}{2} \theta d\theta.$$

» Si la machine était bipolaire, pour trouver la résultante de toutes les forces magnétomotrices, il suffirait de projeter les forces magnéto-

motrices élémentaires sur deux axes rectangulaires fixes, d'intégrer les projections sur chacun des axes et de chercher la résultante des deux intégrations. La machine ayant N pôles, les projections doivent être alors faites sur deux axes de positions variables avec la position de la force magnétomotrice élémentaire; pour une section ayant son axe sur une ligne faisant avec OC un angle α , les projections doivent être faites :

» L'une (pseudo-horizontale) sur un axe faisant avec OC un angle $\left(\frac{N}{2} + 1\right)\alpha$;

» L'autre (pseudo-verticale) sur un axe faisant avec OC un angle $\left(\frac{N}{2} + 1\right)\alpha - \frac{\pi}{2}$.

» Cela donne pour la demi-section ayant son axe en OD , faisant avec OC un angle θ :

» Une projection

$$h_{ch} = pi \cos \frac{Nk}{2} \theta \cos \frac{N}{2} \theta d\theta$$

et une autre

$$h_{cv} = pi \cos \frac{Nk}{2} \theta \sin \frac{N}{2} \theta d\theta.$$

» Cela donne pour la demi-section ayant son axe en OE , faisant avec OC un angle $\theta - \frac{\pi}{N}$:

» Une projection

$$h_{sh} = -pi \sin \frac{Nk}{2} \theta \sin \frac{N}{2} \theta d\theta$$

et une autre

$$h_{sv} = +pi \sin \frac{Nk}{2} \theta \cos \frac{N}{2} \theta d\theta.$$

» Cela donne donc, pour la projection pseudo-horizontale de la section complète,

$$h_h = h_{ch} + h_{sh} = pi \cos \frac{N}{2} (k + 1) \theta d\theta,$$

et pour la projection pseudo-verticale

$$h_v = h_{cv} + h_{sv} = pi \sin \frac{N}{2} (k + 1) \theta d\theta.$$

» Intégrons les projections pour un angle $\psi = \frac{2\pi}{N(k+1)}$ (angle

des balais). Il vient

$$H_h = \int_{-\Omega t}^{-\Omega t - \psi} p i \cos \frac{N}{2} (k+1) \theta d\theta = \frac{4pi}{N(k+1)} \sin \frac{N}{2} (k+1) \Omega t,$$

$$H_v = \int_{-\Omega t}^{-\Omega t - \psi} p i \sin \frac{N}{2} (k+1) \theta d\theta = -\frac{4pi}{N(k+1)} \cos \frac{N}{2} (k+1) \Omega t.$$

» On peut conclure de ces formules :

» 1° La force magnétomotrice résultante vectorielle tourne avec une vitesse $(k+1)\Omega$ par rapport au rotor, et par conséquent avec une vitesse Ω , par rapport au stator, comme le champ magnétique; elle exige donc dans le stator un afflux de courants de même fréquence que les courants d'excitation ou magnétisants.

» 2° A l'époque 0, la composante H_h étant nulle et la composante H_v maxima, alors que la composante pseudo-horizontale du champ est maxima, et sa composante pseudo-verticale nulle, le courant appelé dans le stator pour faire équilibre à la réaction d'induit est donc du courant watté.

» 3° La réaction vectorielle étant $\frac{4pi}{N(k+1)}$ pour un angle ψ ; pour la totalité de la machine, elle est $4pi$ et par pôle $\frac{4pi}{N} = \frac{PI}{2Nu}$.

» On peut en déduire facilement le courant watté absorbé par le stator quand le rotor débite un courant continu I.

» *Résistance apparente du stator.* — Il est évident que la réaction d'induit n'agit pas ici comme dans une dynamo à courant continu; s'il n'y avait pas de fuites magnétiques et si l'on pouvait rendre les résistances des enroulements nulles, pour une tension efficace constante appliquée au stator, la tension continue, obtenue au rotor, serait indépendante de son débit et constante, la réaction, comme dans un transformateur ordinaire, étant compensée par un afflux de courant watté dans le stator. Pratiquement, à cause des fuites et des résistances des enroulements, la tension continue baisse quand le débit augmente. Mais, comme le rotor est fermé sur une résistance pratiquement constante, celle des inducteurs de l'alternateur, le déchet de tension est toujours proportionnel à la tension, et le rapport entre la différence de potentiel continue du rotor et la différence de potentiel alternative du stator est constant.

» D'autre part, le courant absorbé par le stator se composant d'un courant magnétisant proportionnel à la tension, la fréquence étant supposée constante, et d'un courant watté proportionnel à l'intensité débitée par le rotor, c'est-à-dire encore à la tension, il en résulte que, tant que l'on reste au-dessous de la saturation magnétique, les circuits du stator peuvent être assimilés, pour le calcul, chacun à une résistance ρ et une self-induction λ , indépendantes des courants et des forces électromotrices.

» *Compoundage*. — Comment doit varier l'excitation de l'alternateur quand sa charge varie. Il suffit de prendre l'une quelconque des innombrables formules ou l'un quelconque des innombrables diagrammes qui ont été établis depuis qu'il existe des alternateurs et d'y faire constante la tension aux bornes de l'induit pour trouver comment doit varier, en fonction du courant débité, soit la force électromotrice intérieure, soit l'excitation, la résistance intérieure et la self-induction étant connues. Qui trop embrasse mal étreint! aussi négligerons-nous la résistance intérieure qui est tout à fait négligeable devant d'autres causes d'erreurs, et admettrons-nous simplement que l'excitation, tension ou courant, doit être de la forme

$$\sqrt{(A + BI_1 \sin \varphi)^2 + (BI_1 \cos \varphi)^2}$$

dans laquelle

A et B sont des constantes dépendant des éléments de construction de l'alternateur;

I_1 , l'intensité efficace débitée par un enroulement de l'induit;

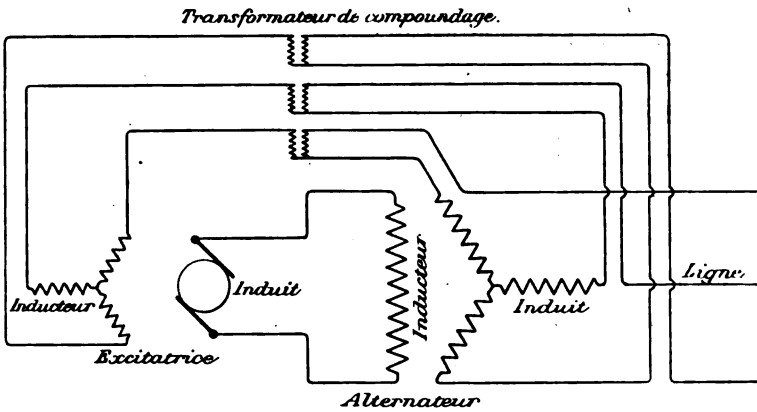
φ , la phase de cette intensité par rapport à la différence de potentiel aux bornes.

» Mais, puisque dans l'excitatrice les courant et tension débités par le rotor sont proportionnels aux courant et tension reçus par le stator, il suffit que ces derniers soient, l'un ou l'autre, également de cette forme.

» C'est ce que nous obtenons par l'adjonction d'un transformateur de compoundage à l'excitatrice, selon le schéma de la figure 2 correspondant au cas particulier d'un alternateur triphasé, c'est-à-dire en intercalant, entre l'induit de l'alternateur et le stator de

l'excitatrice, le secondaire du transformateur, dont le primaire est

Fig. 2.



Connexions générales dans un alternateur compound.

branché en série dans le courant principal de l'alternateur.

» En effet, soient, pour une phase seulement :

$\sqrt{2} E_1 \sin \omega t$, la différence de potentiel aux bornes de l'alternateur, que nous prendrons pour origine des phases;

$\sqrt{2} I_1 \sin(\omega t - \varphi)$ sera le courant débité par l'alternateur;

i_2 , l'intensité instantanée dans le stator de l'excitatrice et le secondaire du transformateur de compoundage;

I_2 , la valeur efficace de cette intensité;

l_2 , le coefficient de self-induction du secondaire du transformateur de compoundage;

m , le coefficient d'induction mutuelle du transformateur de compoundage;

ρ , la résistance d'assimilation du stator de l'excitatrice;

λ , le coefficient de self-induction d'assimilation du stator de l'excitatrice.

» On a évidemment

$$\sqrt{2} E_1 \sin \omega t = \rho i_2 + (\lambda + l_2) \frac{di_2}{dt} - m \sqrt{2} \omega E_1 \cos(\omega t - \varphi),$$

d'où

$$i_2 = \sqrt{2} \frac{E_1 \rho + m \omega I_1 [\rho \sin \varphi + \omega (\lambda + l_2) \cos \varphi]}{\rho^2 + (\lambda + l_2)^2 \omega^2} \sin \omega t - \sqrt{2} \frac{E_1 (\lambda + l_2) \omega - m \omega I_1 [\rho \cos \varphi - \omega (\lambda + l_2) \sin \varphi]}{\rho^2 + (\lambda + l_2)^2 \omega^2} \cos \omega t,$$

soit, pour sa valeur efficace,

$$I_2 = \sqrt{(E_1 + m\omega I_1 \sin \varphi)^2 + (m\omega I_1 \cos \varphi)^2};$$

ce qui signifie que l'intensité dans le stator de l'excitatrice, et par conséquent aussi la tension aux bornes, a bien pour chaque valeur de E_1 , I_1 , φ la valeur voulue si l'on fait $E_1 = A$ et $m\omega = B$.

» Cela ne signifie pas, évidemment, que E_1 est constant; pour prouver cette dernière proposition, il faudrait faire intervenir des considérations d'équilibre eu égard à la caractéristique d'aimantation de l'alternateur, absolument comme s'il s'agissait de machines à courant continu en auto-excitation; cela prouve simplement, et c'est suffisant avec ce que nous savons de ces dernières machines, que, si E_1 est la tension correspondant à l'équilibre, la tension de régime fixe *à vide*, l'excitation a exactement la valeur voulue pour que cette même tension E_1 reste la tension d'équilibre, de régime fixe à toutes les charges.

» Mais il ne suffit pas que l'intensité dans le stator de l'excitatrice ait la valeur voulue à toutes les charges de l'alternateur, il faut encore que la position des balais soit invariable, fixe pour toutes les charges. Or, puisque l'induit de l'excitatrice est calé sur l'axe de l'alternateur, comme les pôles de celui-ci, il suffit pour cela que le vecteur représentatif de la différence de potentiel aux bornes du stator de l'excitatrice, réduit de vitesse dans le rapport k , fasse toujours un angle constant avec les pôles de l'alternateur; autrement dit, il suffit que la différence de phase entre la tension aux bornes du stator de l'excitatrice et la force électromotrice intérieure de l'alternateur soit constante. Il en est bien ainsi.

» En effet, la phase φ_e de la tension aux bornes du stator de l'excitatrice est facile à déterminer, puisque cette tension est

$$\rho i_2 + \lambda \frac{di_2}{dt};$$

en effectuant, on trouve

$$\tan \varphi_e = \frac{m\omega I_1 \cos \varphi [\rho^2 + \omega^2 \lambda (\lambda + l_2)] - \rho \omega l_2 (E_1 + m\omega I_1 \sin \varphi)}{[\rho^2 + \omega^2 \lambda (\lambda + l_2)] (E_1 + m\omega I_1 \sin \varphi) + \rho \omega l_2 (m\omega I_1 \cos \varphi)},$$

Mais, d'autre part, puisque nous avons admis que l'on a

$$E_1 = A \quad \text{et} \quad m\omega = B,$$

la phase φ_a de la force électromotrice intérieure de l'alternateur est telle que

$$\operatorname{tang} \varphi_a = \frac{m \omega I_1 \cos \varphi}{E_1 + m \omega I_1 \sin \varphi},$$

d'où, finalement

$$\operatorname{tang}(\varphi_e - \varphi_a) = - \frac{\rho \omega l_2}{\rho^2 + \omega^2 \lambda (\lambda + l_2)} = \text{const.}$$

» Le calage des balais de l'excitatrice est donc invariable, et la tension obtenue à l'alternateur, indépendante de son débit en courant watté ou déwatté, ainsi que j'avais eu l'occasion de l'affirmer dans les Articles et Communications précédemment cités.

» Je dois ajouter, en passant, que le compoundage, ainsi réalisé pour un alternateur, est *théoriquement parfait*, tandis que le compoundage des dynamos à courant continu, exception faite pour le procédé Ryan, tel qu'il est ordinairement réalisé, constitue une solution *imparfaite* et seulement *approchée*, les ampères-tours des enroulements-série étant simplement proportionnels au courant, alors qu'ils devraient varier suivant une fonction plus complexe, puisqu'ils sont placés sur les mêmes bobines que les ampères-tours dérivés.

» Aussi peut-on arriver pratiquement dans un alternateur à une constance de tension supérieure à celle que l'on peut réaliser dans une dynamo à courant continu compoundée par les procédés usuels.

» *Causes perturbatrices.* — J'ai dit que l'on pouvait négliger la résistance intérieure de l'induit de l'alternateur et qu'il y avait d'autres causes plus importantes pouvant modifier les conclusions de la théorie. Ce sont :

» 1° *Les fuites magnétiques de l'alternateur.* — A cause de ces fuites la formule d'excitation véritable, en fonction de la charge, est légèrement différente de celle admise plus haut; mais les conséquences qui en résultent ne sont pas défavorables, au contraire. Ainsi que l'indiquent les considérations théoriques et ainsi que nous avons pu le constater sur une machine ayant des fuites très considérables, il en résulte que le compoundage étant obtenu exactement lorsque la machine débite du courant watté, elle est légèrement hypercompound lorsqu'elle débite du courant déwatté; c'est

une circonstance favorable puisque dans ce dernier cas les chutes de tension en ligne sont plus importantes que dans le premier. Ainsi donc, lorsque, par suite de circonstances accessoires, le compoundage n'est pas rigoureusement indépendant de la nature du courant, la différence est justement contraire à ce qu'espéraient les détracteurs du compoundage des alternateurs.

» J'ajoute qu'il faut que ces fuites soient *très considérables* pour que les différences de voltage provenant de la nature du courant soient assez sensibles; avec des machines ayant des fuites ordinaires la différence, s'il y en a une, est de l'ordre des autres phénomènes accessoires, c'est-à-dire du centième ou du cinquantième.

» 2° *La force électromotrice induite dans le primaire du transformateur de compoundage.* — Grâce à cette force électromotrice, en effet, la tension en ligne n'est pas la même que la tension aux bornes de l'alternateur, et c'est la première seule qui intéresse et doit être constante.

» On arrive aisément à compenser l'effet de cette force électromotrice en changeant légèrement les conditions de compoundage établies plus haut.

» 3° *Les variations de vitesse.* — La vitesse, qui est supposée constante en théorie, diminue pratiquement dans une certaine mesure avec la charge; on est donc conduit, en réalité, à toujours hypercompounder, ou plus exactement surcompounder, les alternateurs; il y a d'autre part intérêt à obtenir un compoundage ascendant pour compenser dans une certaine mesure les chutes de tension en ligne.

» J'ajoute que, lorsqu'il y a des variations périodiques de la vitesse, les variations de tension sont moindres avec un alternateur compound qu'avec un alternateur ordinaire ayant son excitatrice sur l'arbre ou commandée par courroie; en effet, dans le système compound, lorsque la vitesse diminue un peu, la fréquence diminuant, la réactance du stator de l'excitatrice diminue et son champ diminue, en conséquence, *moins* que s'il était produit par du courant continu. Pour fixer grossièrement les idées on peut dire que, si la tension varie dans un alternateur ordinaire selon la puissance n de la vitesse, elle varie dans un alternateur compound, toutes choses égales, selon la puissance $(n - 1)$ seulement.

» 4° *L'hystérésis des inducteurs.* — Comme cela a d'ailleurs été constaté pour les dynamos compounds à courant continu, l'hystérésis des inducteurs, lorsqu'il y a des variations de charge ou de vitesse, modifie dans le sens des précédents régimes la tension aux bornes. Après une augmentation momentanée de vitesse la tension est un peu supérieure à la normale, et inversement; de même, quoique à un degré moindre, après une diminution de charge, le flux étant moindre par suite de la diminution des fuites. Cette influence est d'ailleurs faible et non durable.

» 5° *La variation de résistance des inducteurs avec la température.* — Cette variation, qui peut atteindre 10 à 15 pour 100 de la résistance à froid des inducteurs, peut modifier très sensiblement les résultats. Mais il y a lieu de remarquer que les variations de température, à l'inverse des variations de charge, sont lentes et aisées à prévoir à l'avance; on peut donc parer aux perturbations qu'elles pourraient apporter par un rhéostat *compensateur de température* que l'on n'a à manœuvrer que très rarement et qui peut d'ailleurs être supprimé dans les installations qui marchent sans interruption. Dans les autres, si l'on tient à ce que la tension ne varie pas plus de 2 pour 100, on sait d'avance qu'il faudra retirer un peu de résistance une demi-heure, 1 heure ou 2 heures après la mise en marche.

» De ces cinq causes perturbatrices principales il n'y a donc que les trois premières qui puissent réellement affecter le compoundage. Aussi, lorsque la machine se trouve dans les conditions définitives d'installation chez le client, réduit-on du même coup à néant les difficultés pouvant résulter de ces trois causes par un réglage définitif sur place des éléments du compoundage; ce réglage réservé pendant la construction, et sur les détails duquel il serait superflu d'insister ici, permet finalement de laisser au client un alternateur compoundé exactement ou surcompoundé de la quantité qu'il désire, quel que soit l'écart de réglage de la machine motrice. Inutile de dire que c'est presque toujours l'hypercompoundage qui a la préférence.

» *Avantages du système adopté.* — Je passerai rapidement sur les

avantages des alternateurs compounds en général; tout le monde les connaît aujourd'hui.

» Pour le constructeur, l'économie faite sur la matière de l'alternateur, qui est mieux utilisée, compense largement la plus-value due à la construction d'une excitatrice spéciale et au transformateur de compoundage.

» Celui qui les utilise est débarrassé du souci continu du réglage de la tension, souci qui est plus particulièrement grand dans les distributions simultanées d'éclairage et de force motrice, et qui est tel, dans certaines usines, qu'un homme doit rester constamment les yeux fixés sur un voltmètre et la main sur un rhéostat de réglage et manœuvrer continuellement ce rhéostat.

» On a, il est vrai, essayé de remplacer l'homme par un automate, mais je n'ai pas besoin de vous dire que l'automate, l'homme aussi très souvent, arrive toujours comme les carabiniers, fait la correction lorsque la tension a déjà varié, et très souvent au moment où il devrait en faire une autre de sens contraire. La self-induction des inducteurs de l'alternateur, qui s'en mêle, ne vient pas simplifier les choses et aggrave les conséquences des retards de l'automate.

» Avec un compoundage proprement dit, comme celui qui nous occupe, la self-induction des inducteurs ne peut pas entrer en jeu; en effet, il n'y a sensiblement pas de variation de flux dans l'alternateur; il y a simplement, sous flux constant, des ampères-tours d'induit et des ampères-tours d'inducteur qui se font équilibre à chaque instant; les variations du courant dans l'inducteur sont donc instantanées, sans retard sur celles du courant dans l'induit.

» J'ai déjà dit précédemment que l'un des avantages du système particulier que je préconise réside dans la possibilité d'avoir un nombre relativement restreint de pôles et de balais à l'excitatrice.

» Ainsi, avec un alternateur à 8 ou 10 pôles, on peut avoir une excitatrice à 4 pôles; avec un alternateur à 12, 14 ou 16 pôles, on peut avoir une excitatrice à 6 pôles; avec un alternateur à 16, 18, 20, 22 pôles, on peut avoir une excitatrice à 8 pôles.

» Une commutatrice dans les mêmes conditions devrait avoir autant de pôles que l'alternateur et autant de balais que de pôles, ce qui la rendrait inapplicable, indépendamment d'autres inconvénients sur lesquels je passe.

» Pour les alternateurs volants ayant 40 à 80 pôles, un seul renvoi par engrenage suffit; la commutatrice en exigerait deux.

» Un autre avantage réside dans ce que l'excitation alternative de l'excitatrice est *isolée* de son induit, ce qui permet de la faire à n'importe quelle tension, comme un moteur à champ tournant, et d'éviter la dépense d'un transformateur abaisseur de tension dans la majorité des cas. Un tel stator peut en effet être enroulé directement, sans inconvénient pour une tension quelconque, jusqu'à 1000 volts pour les petits alternateurs, jusqu'à 3000 volts pour les gros.

» Les enroulements du stator pouvant être rendus inaccessibles comme ceux d'un transformateur, ou comme ceux de l'induit d'un alternateur, aucun danger n'est à redouter pour l'électricien, au cas où il viendrait toucher aux balais, ce qu'il n'a du reste pas à faire, puisque leur calage est fixe.

» Cette séparation entre le courant continu que débite l'excitatrice et le courant alternatif qu'elle reçoit a encore pour avantage de rendre invariables, dans les machines de série, l'inducteur de l'alternateur et le rotor de l'excitatrice; quelles que soient la tension et la fréquence demandées, ces deux organes sont toujours les mêmes, et à basse tension naturellement; seuls changent l'enroulement de l'induit de l'alternateur et celui du stator de l'excitatrice. De cette façon l'enroulement du rotor de l'excitatrice, qui est le plus délicat, est toujours le même, et ces machines peuvent être faites en séries. Cet enroulement a d'ailleurs l'air plus complexe qu'il n'est en réalité. Pratiquement, trois nombres de spires suffisent dans un induit; les plus employés sont 1, 3, 4; 2, 6, 8; 2, 5, 7. L'emploi de sections bobinées sur cadres, comme celles des moteurs de tramways, et de règles très simples pour les connexions, facilite grandement la réalisation dans des conditions de perfection qui donnent à ces induits une sécurité aussi grande que celle des modernes dynamos à courant continu ordinaires.

» Divers autres avantages résultent d'ailleurs du fonctionnement même de l'excitatrice, mais il serait trop long de les exposer ici.

» En résumé, la solution de compoundage que nous avons adoptée peut s'appliquer aux alternateurs à peu près universellement. Dans

l'exposé des applications que je vous ferai tout à l'heure, vous verrez en effet que nous avons pu l'appliquer à des machines ayant des vitesses comprises entre 65 et 1000 tours par minute, et pour les tensions les plus variées jusqu'à 3200 volts.

» *Couplage en parallèle.* — Avant de passer aux exemples d'applications, je voudrais vous parler un peu du couplage en parallèle des alternateurs compounds; j'ai vu, en effet, depuis quelque temps, dans certaines Revues, des affirmations erronées contre lesquelles il y a intérêt à réagir. Selon les uns, les alternateurs compounds ne pourraient pas se mettre en parallèle; selon les autres, ils auraient à un très haut degré ce que l'on a appelé l'*aptitude au couplage en parallèle*, ce qui, par une délicieuse ironie de la nature, se traduirait pratiquement par une inaptitude complète à marcher en parallèle lorsque la force motrice est empruntée aux machines à vapeur à piston.

» Fort heureusement, les choses doivent être, je pense, envisagées d'une tout autre manière; le calcul tout simple, sans artifices spéciaux, permet de voir ce qui se passe. Il suffit de reprendre les formules générales du couplage en parallèle, par exemple celles que j'ai établies en 1892 pour deux alternateurs, et de les discuter. Pour faciliter cette discussion et afin de mieux faire saisir le phénomène, je supposerai que l'on prend comme origine des phases celle de la différence de potentiel aux bornes, qui sera

$$e \sin \omega t;$$

la force électromotrice de la première machine sera

$$E_1 \sin(\omega t + \varphi_1);$$

celle de la deuxième machine sera

$$E_2 \sin(\omega t + \varphi_2);$$

je négligerai les résistances intérieures, qui sont toujours 40 à 50 fois plus petites que les réactances, et je supposerai que les alternateurs sont à vide : soit ωl la réactance de chaque alternateur. (Les notations employées n'ont plus rien de commun avec celles admises dans la première Partie.)

» En faisant le calcul on trouve, pour le courant de circulation,

$$i = \frac{E_1 \sin \varphi_1 \sin \omega t + (e - E_1 \cos \varphi_1) \cos \omega t}{\omega l}$$

$$= - \frac{E_2 \sin \varphi_2 \sin \omega t + (e - E_2 \cos \varphi_2) \cos \omega t}{\omega l},$$

d'où

$$P_1 = \frac{E_1 e \sin \varphi_1}{\omega l} \quad \text{et} \quad P_2 = \frac{E_2 e \sin \varphi_2}{\omega l} = -P_1,$$

avec les deux conditions

$$E_1 \sin \varphi_1 + E_2 \sin \varphi_2 = 0, \quad E_1 \cos \varphi_1 + E_2 \cos \varphi_2 = 2e.$$

» Pour comparer le fonctionnement de deux systèmes, l'un avec des alternateurs ordinaires, l'autre avec des alternateurs compounds, il suffit, dans la formule de P_1 , d'éliminer e dans le premier cas et E_2 dans le second.

» Appelons φ le décalage total entre les deux alternateurs $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$.

» *a. Alternateurs ordinaires.* — Des deux conditions, combinées avec P_1 , on tire

$$P_1 = -P_2 = \frac{E_1 E_2}{2 \omega l} \sin \varphi;$$

soit, en égalisant les excitations,

$$P_1 = -P_2 = \frac{E_1^2}{2 \omega l} \sin \varphi.$$

» *b. Alternateurs compounds.* — Dans ce cas, le résultat est tout différent; on ne peut pas arriver à un résultat ne contenant que e et φ ; on trouve

$$P_1 = -P_2 = \frac{2e^2}{\omega l} \frac{\sin \varphi_1 \sin \varphi_2}{\sin \varphi}.$$

» Il y a alors dans ce cas une indétermination, ce qui est aisé à comprendre par le raisonnement suivant :

» Supposons, pour un instant, qu'il n'y ait aucun décalage entre les deux alternateurs; puisqu'il n'y a aucun déphasage entre la force électromotrice d'un alternateur et sa différence de potentiel aux bornes quand il débite ou reçoit du courant *déwatté*, il en résulte

que l'échange de courant déwatté entre ces deux alternateurs compounds est *indéterminé*; il peut passer 10, 100, 1000 ampères déwattés d'une machine dans l'autre, sans que le calage entre les deux alternateurs change et sans que les moteurs cherchent à réagir contre cet échange, puisqu'il ne s'agit que de courant déwatté.

» Au point de vue du courant de circulation déwatté, les machines sont en équilibre absolument *instable*, ce qui est d'accord avec l'indétermination théorique ci-dessus, qu'il faut donc lever par un procédé quelconque.

» Je ne sais si c'est pour lever cette indétermination que M. Leblanc, dans la Communication qu'il nous a faite en novembre 1898, a supposé, pour le couplage en parallèle, l'alternateur relié au réseau par un conducteur de faible résistance et de réactance égale à sa résistance; il ne l'a pas dit explicitement; en tout cas, je ne pense pas que cette manière de faire puisse conduire à un résultat efficace; sans entrer dans les détails, je signale les raisons suivantes :

» 1° Les *causes perturbatrices* que j'ai examinées précédemment et qui font que le compoundage d'un alternateur ne peut être réalisé qu'avec une certaine approximation, à 2 ou 3 pour 100 près, rendent illusoire le conducteur additionnel, à moins qu'on ne lui donne une résistance et une réactance telles que ce serait renoncer, par ce fait, au compoundage et détruire par un artifice malheureux ce que l'on a eu tant de peine à édifier.

» 2° Même s'il en était vraiment comme le pense M. Leblanc, cette manière de faire serait désastreuse dans le cas d'alternateurs mus par des machines à vapeur, c'est-à-dire en général.

» En vous reportant à la Communication que j'ai eu le plaisir de vous faire en novembre dernier, vous verrez, en effet, que la période d'oscillation naturelle d'un tel alternateur serait très courte, et il serait impossible d'éviter la résonance pour l'un quelconque des termes de la série de Fourier représentative du couple du moteur à vapeur.

» 3° Adopter cette manière de faire ce serait renoncer par avance à l'hypercompoundage, qui est bien préférable dans la majorité des cas au compoundage simple.

» Il faut donc procéder autrement.

» Remarquons, en passant, que si aux formules précédentes, qui comportent une indétermination, on ajoute la condition $E_1 = E_2$, il en résulte $\varphi_2 = -\varphi_1$ et

$$e = E_1 \cos \frac{\varphi}{3},$$

d'où

$$P_1 = -P_2 = \frac{e^2}{\omega l} \tan \frac{\varphi}{3}.$$

» C'est-à-dire que, si e est constant, la puissance synchronisante est proportionnelle au double de la tangente du demi-angle d'écart des alternateurs au lieu d'être proportionnelle au sinus de l'angle d'écart comme dans les alternateurs ordinaires.

» Deux conclusions s'en dégagent :

» 1° La tangente à l'origine, pour $\varphi = 0$, est la même dans les deux cas ; par conséquent, la période d'oscillation naturelle est la même, que les alternateurs soient compounds ou non.

» 2° Les alternateurs compounds seraient indécrochables, puisque la tangente est infinie pour $\varphi = \pi$, si les dispositions mêmes que l'on est conduit à prendre pour assurer l'égalité $E_1 = E_2$ ne modifiaient pas complètement cette conclusion.

» Pour réaliser cette égalité de E_1 et de E_2 , on peut, soit relier en parallèle les inducteurs des deux alternateurs (ou, ce qui revient au même, les induits des excitatrices), soit, ce que nous préférons personnellement pour des raisons trop longues à exposer ici, relier en parallèle les primaires des transformateurs de compoundage. De l'une ou l'autre façon il n'y a plus indétermination pour le courant de circulation déwatté ; mais, du même coup, les deux ou n alternateurs deviennent les uns par rapport aux autres comme s'ils n'étaient plus compounds.

» Ainsi donc les dispositions que l'on est amené à prendre, pour relier en parallèle les alternateurs compounds, ont pour effet de les placer vis-à-vis les uns des autres dans les conditions des alternateurs ordinaires, l'ensemble restant compoundé pour les courants débités dans le réseau.

» On peut donc en conclure, sans ambiguïté, que les alternateurs compounds se couplent en parallèle comme les autres. Il y a cependant un avantage à leur actif qui est celui-ci :

» Un alternateur compound pouvant être réalisé avec une bien

plus grande réaction qu'un alternateur ordinaire, puisque, dans ce dernier, celle-ci est limitée par la chute de tension admissible en pratique, il en résulte que la période d'oscillation naturelle peut être très sensiblement plus grande, à égalité de moment d'inertie, pour un alternateur compound que pour un alternateur ordinaire : en d'autres termes, ce que j'ai appelé le *volant de résonance*, dans ma Communication de novembre dernier, est plus petit pour l'alternateur compound. En résumé, non seulement les alternateurs compounds peuvent être plus légers par eux-mêmes que les alternateurs ordinaires, mais encore, dans la commande directe par moteurs à vapeur, ils nécessitent des volants moins lourds en vue du couplage en parallèle.

APPLICATIONS.

» A titre de vérification de la théorie que je viens de vous exposer j'ai réalisé d'abord un petit alternateur compound d'une dizaine de kilowatts, diphasé, à 50 périodes, 120 volts, tournant à 750 tours par minute et ayant 8 pôles, accouplé avec une excitatrice à 2 pôles qu'un renvoi par engrenage faisait tourner à 1500 tours par minute.

» Les expériences faites sur cette machine ont permis de vérifier complètement les déductions de cette théorie. A la suite de cet essai, fait au début de l'année 1899, notre ancien Président, M. Sciama, Directeur de la Maison Breguet, a décidé d'entreprendre la construction de ces machines en France; quelques mois plus tard, M. Dierman, Directeur de la Société des Applications de l'électricité de Liège, a pris une décision analogue pour la Belgique, et j'aurai le plaisir de vous montrer successivement une partie des machines de ce genre faites par ces deux maisons jusqu'ici.

» Tous ces alternateurs sont établis pour débiter le courant de pleine charge avec un $\cos \varphi = 0,8$; ils sont d'ailleurs assez largement prévus; mais, même sans cela, il est évident qu'aux charges inférieures le $\cos \varphi$ peut être différent de 0,8 en plus ou en moins.

» Je me dispenserai de vous montrer les courbes des tensions en fonction de la charge de tous ces alternateurs; cela présente peu d'intérêt, puisque ce sont presque des droites horizontales ou légèrement inclinées dans le cas des alternateurs hypercompounds.

» Ce qui est plus curieux à observer, mais néanmoins inutile de

reproduire sous forme de courbes pour toutes ces machines, c'est la variation de l'excitation suivant la phase du courant débité par l'alternateur. L'un quelconque de ces alternateurs ayant une charge quelconque, nulle par exemple, on constate que son excitation a une certaine valeur, mettons 50 ampères; on lui fait débiter sur résistances un certain courant, on voit l'excitation monter un peu, par exemple à 60 ampères; si, au contraire, on lui fait débiter la même intensité sur des bobines de self-induction, on voit l'excitation monter beaucoup plus, à 90 ampères, ce qui est tout naturel, mais intéressant à observer.

» Je profiterai de l'occasion pour vous montrer, en même temps que ces alternateurs, quelques particularités qui, je pense, vous intéresseront dans les installations qui sont alimentées par eux.

» Ces installations contiennent un assez grand nombre de moteurs asynchrones construits par ces deux maisons et qui se ramènent à trois types différents parmi lesquels on choisit dans chaque cas, suivant les circonstances de l'application à faire, et que nous désignons pour les différencier par les lettres α , β , et γ .

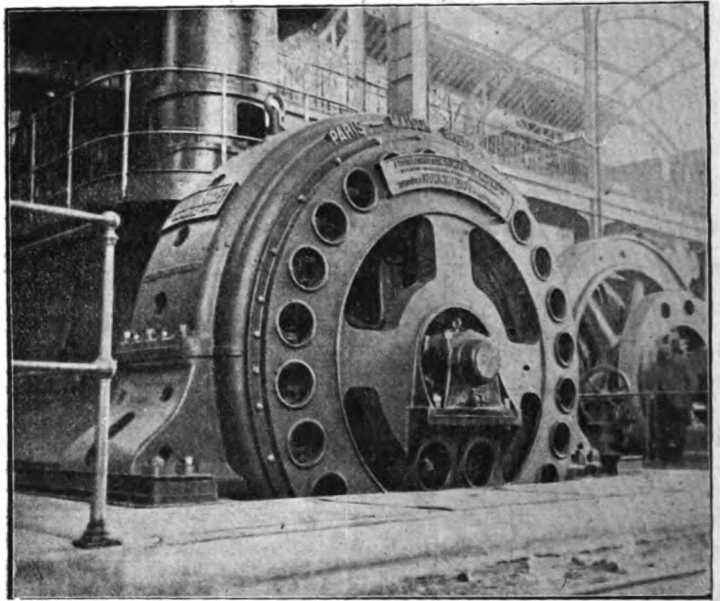
» J'ai déjà eu l'occasion de vous présenter et expliquer en détail les types α et γ dans une Communication faite à la Société en janvier 1898, au moment où la Maison Breguet en a entrepris la construction, quelques années après leur élaboration. Je n'ai pas encore eu l'occasion de présenter à la Société les moteurs du type β , mais M. Jovignot a bien voulu le faire, en janvier 1901, dans l'intéressante Communication qu'il nous a faite au sujet de la plate-forme mobile de l'Exposition de 1900; c'est, en effet, ce type de moteurs que, eu égard aux circonstances particulières, j'avais proposé d'appliquer à la plate-forme, lorsqu'il était question de l'alimenter avec des courants triphasés.

» Tous ces moteurs sont à induits fermés, sans bagues ni frotteurs, par conséquent très robustes, et démarrent en charge, quelques-uns dans des conditions excessivement pénibles; ils ont obtenu beaucoup de succès auprès des personnes qui les ont employés; les alternateurs compounds paraissent partager ce sort.

» Le premier alternateur compound, construit par la Maison Breguet, est celui de 700 kilowatts de l'Exposition de 1900, donnant du courant triphasé à 50 périodes et 2400 volts et tournant à 250 tours

par minute. La raison pour laquelle il a dû fonctionner, pendant l'Exposition, en excitation séparée est une raison d'ordre mécanique en apparence peu importante : l'excitatrice était à l'extrémité de l'arbre de la machine à vapeur opposée à celle de l'alternateur. L'accouplement, qui doit être forcément un accouplement rigide, pour que la position des balais soit fixe, transmettait des vibrations importantes au bâti de l'excitatrice, et telles qu'il était in-

Fig. 3.



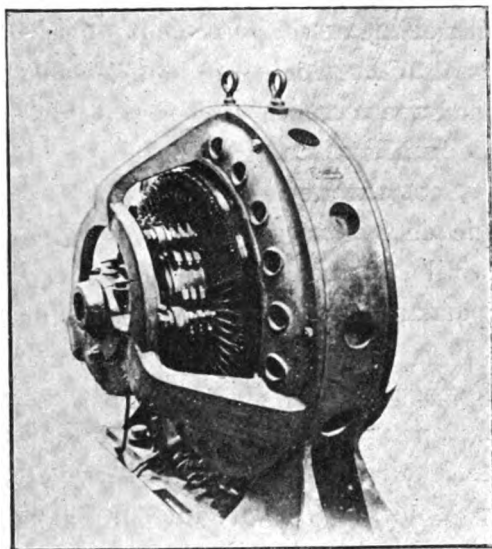
Exposition de 1900. — Alternateur compound de 700 kilowatts.

dent de marcher dans ces conditions. On a cependant pu faire les réglages nécessaires, marcher pendant deux séances et constater que le compoundage et l'hypercompoundage pouvaient être réalisés l'un et l'autre. La figure 3 représente cet alternateur, la figure 4 l'excitatrice, la figure 5 le transformateur de compoundage, dont la disposition et l'apparence sont celles de tous les autres transformateurs de compoundage que je me dispenserai de vous montrer.

» Le deuxième alternateur compound réalisé par la Maison Schneider et Co. est en service depuis près de deux ans à la Société des Éclairages de l'Anjou ; cet alternateur compound est, je crois, le premier qui ait fait un service régulier et suivi, en Europe tout au moins.

C'est, en réalité, un double alternateur, car vous savez qu'avec les turbines de Laval on met toujours deux générateurs électriques, de

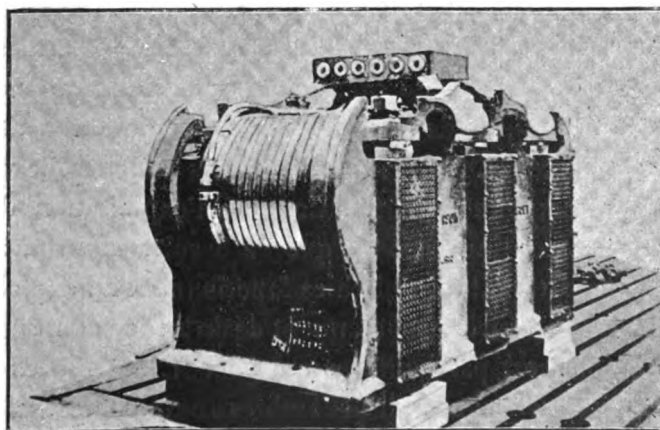
Fig. 4.



Excitatrice spéciale d'alternateur compound.

manière à équilibrer, dans la plus grande mesure possible, les efforts sur le pignon de la roue-turbine.

Fig. 5.



Transformateur de compoundage.

» Il y a donc deux alternateurs de 50 kilowatts chacun, une seule

excitatrice et un seul transformateur de compoundage; les alternateurs sont du type *homopolaire* ou à fer tournant, qui s'applique particulièrement bien à la vitesse de 1000 tours par minute, et donnent du courant triphasé à 115 volts et 50 périodes. Le service de ce groupe est assez pénible et quelques mots d'explication ne sont pas superflus à ce sujet. Cette Société extrait l'ardoise par un nouveau procédé ⁽¹⁾. Anciennement, on se contentait de faire des trous en forme d'entonnoirs, d'où l'on tirait le schiste au moyen de plans inclinés; si l'on tient compte de ce que le rendement en ardoise utilisable n'est que de 8 à 10 pour 100 des produits d'abatage, la dépense de travail était certainement considérable eu égard aux résultats, indépendamment des grands dangers de cette manière de faire.

» La nouvelle manière d'exploiter de cette Société, dite *en montant* et qui n'est à peu près possible qu'avec le concours de l'électricité, consiste à faire des puits, galeries latérales et chambres comme dans les houillères, à faire tomber de temps en temps, au moyen de la dynamite, la voûte de ces chambres sur une épaisseur d'environ 1^m, à trier sur place et à ne porter au jour que ce qui est utilisable, en laissant sur le sol de la chambre les 90 pour 100 formant le reste. Des treuils, conduits par des moteurs des types α et β , ont pour mission d'arracher les blocs d'ardoise de la chute de la voûte pour les trier et placer sur wagonnets; aussi les moteurs de ces treuils sont-ils fréquemment calés en pleine vitesse, ce qui est pénible à la fois pour eux et pour les génératrices, si l'on tient compte de ce que la Société ayant 50 à 55 moteurs en tout, représentant ensemble plus de 300 HP, chaque exploitation utilise une vingtaine de moteurs. Malgré ces conditions difficiles, le voltage de l'alternateur compound qui fonctionne à l'exploitation de Renazé ne varie guère continuellement que de 3 volts environ, alors que pour un autre alternateur ordinaire fonctionnant à l'exploitation de Trélazé, la tension varie constamment de 80 à 130 volts, ce qui, vous n'en doutez pas, est particulièrement gênant, et pour les moteurs, et pour l'éclairage par arcs des chambres souterraines.

(1) Pour plus de détails, voir un article de M. Brunswick dans l'*Électricien*; juin, juillet, août 1901, n^{os} 515, 546, 550, 552, 553, 554.

» La figure 6 montre le groupe turbo-alternateur compound de Renazé, dans lequel on a enlevé l'un des alternateurs : l'excitatrice comme vous voyez, est conduite par l'un des alternateurs, celui qui subsiste dans la photographie.

» Un autre ensemble turbo-alternateur-compound, tel que celui représenté par la figure 7, a été fourni peu de temps après aux mines de Riosa-Gijon (Espagne); il est identique au précédent, au voltage près.

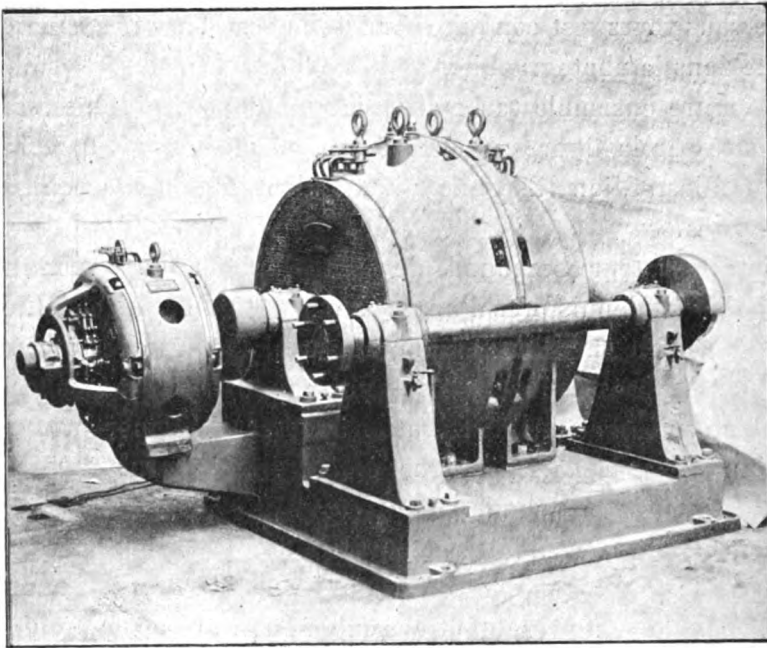
» Un alternateur compound, de petites dimensions, est en fonction également depuis près d'un an chez MM. Menier, à Noisiel, qui, ainsi que vous le savez, sont toujours parmi les premiers à vouloir bénéficier des progrès incessants de notre industrie (¹). La chocolaterie Menier possède une distribution de force très importante, dont la réalisation par la Maison Breguet est, en grande partie, antérieure aux alternateurs compounds.

» Deux groupes turbo-alternateurs, de 300 chevaux chacun, triphasés à 200 volts, qu'il est d'ailleurs question de compounder; 25 à 30 moteurs, représentant ensemble environ 600 chevaux, en forment la partie principale. Mais le dimanche, l'usine étant arrêtée, on pourvoit à la nécessité d'alimenter les différents appareils d'éclairage, et un moteur qui ne chôme pas, au moyen d'un petit groupe constitué (*fig. 8*) par une machine à vapeur Carels à 500 tours par minute et un alternateur compound triphasé de 15 à 20 kilowatts.

» Une autre particularité de cette installation ne manque pas d'intérêt; c'est une application du système que je vous ai décrit, en février 1898, sous le nom de *résonateur* et qui consiste à transformer une distribution à voltage constant en une distribution à courant constant, au moyen des bobines de self-induction et de condensateurs. L'éclairage de la cité ouvrière, du village, des routes et abords de Noisiel est fait de la façon suivante : une partie du courant triphasé à 200 volts est transformée en diphasé à 550 volts, au moyen d'un transformateur spécial à champ tournant qui se trouve dans la boîte en fonte que l'on voit à la partie supérieure de la figure 9. De

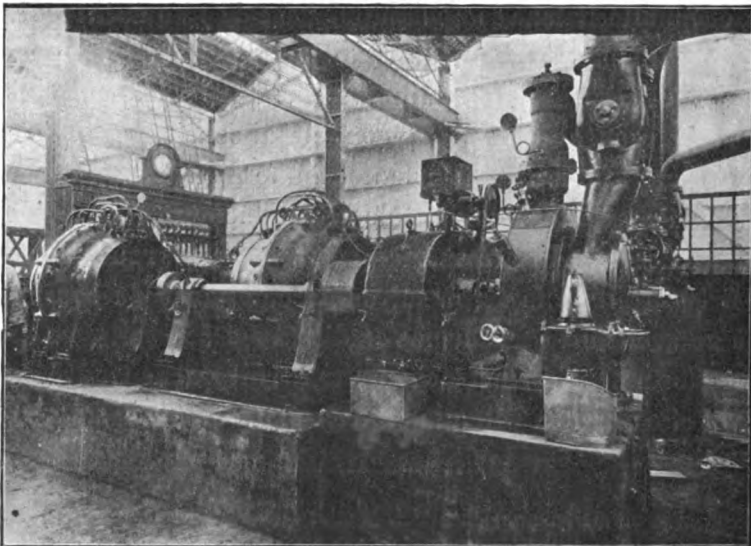
(¹) C'est, si je ne me trompe, chez MM. Menier qu'a été faite la première application des courants polyphasés en France; voir à ce sujet mon article de la *Lumière électrique*, 19 et 26 mai 1894.

Fig. 6.



Ardoisières de l'Anjou.
Un des deux alternateurs compounds de 50 kilowatts et l'excitatrice commune.

Fig. 7.



Ensemble d'un turbo-alternateur compound Breguet de 100 kilowatts.

ce courant diphasé à 550 volts, une partie est distribuée à voltage constant et utilisée en différents points éloignés au moyen de transformateurs abaisseurs ; une autre partie dessert deux résonateurs, lesquels alimentent chacun un circuit à intensité constante comprenant 15 à 20 lampes publiques réparties sur plusieurs routes. Dans cette même figure 9 on voit, au-dessous du transformateur de triphasé en diphasé, les enveloppes des condensateurs et bobines de self-induction d'un des deux résonateurs.

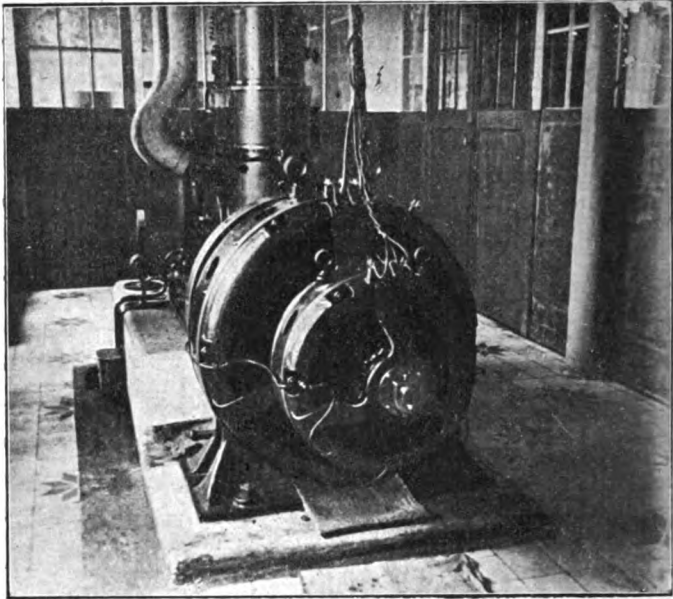
» Afin d'écarter tout danger pour les personnes et pour qu'en cas de rupture d'une lampe les autres restent allumées, celles-ci sont intercalées dans les secondaires de petits transformateurs individuels dont les primaires sont montés tous en série. L'emploi de la distribution à intensité constante est justifié, si l'on songe que la longueur développée de la canalisation est de plus de 4^{km}.

» L'alternateur compound réalisé ensuite (*fig. 10*) est particulièrement intéressant par sa faible vitesse : 65 tours par minute ; il est installé à la sucrerie d'Escaudœuvres, près de Cambrai, et produit 400 kilowatts en courant triphasé à la fréquence de 50 périodes et à la tension de 330 volts. Il a donc 92 pôles, ce qui, je n'ai pas besoin de vous le dire, occasionne des fuites magnétiques très considérables et augmente les difficultés du problème. Cet alternateur volant est du type à induit fixe à l'intérieur des inducteurs, qui sont eux-mêmes montés à l'intérieur de la jante du volant, selon une disposition avantageuse dans certains cas, et qui permet en outre d'utiliser le volant comme poulie pour la commande d'un appareil quelconque qui, dans le cas présent, est un alternateur à deux fréquences (21 et 35 périodes), dont je vous entretiendrai tout à l'heure.

» L'excitatrice commandée par engrenages tourne à 250 tours par minute (*fig. 4*). Antérieurement à cet alternateur compound, il y avait déjà à la Sucrerie un alternateur de la maison Breguet, à courroie, de 200 kilowatts, 50 périodes. A titre d'expérience, nous avons pu, à la fin de la campagne dernière, pendant laquelle l'alternateur volant a seul assuré le service avec l'alternateur à deux fréquences, faire marcher en parallèle ces deux machines si différentes : l'alternateur volant compound et l'alternateur à courroie ordinaire.

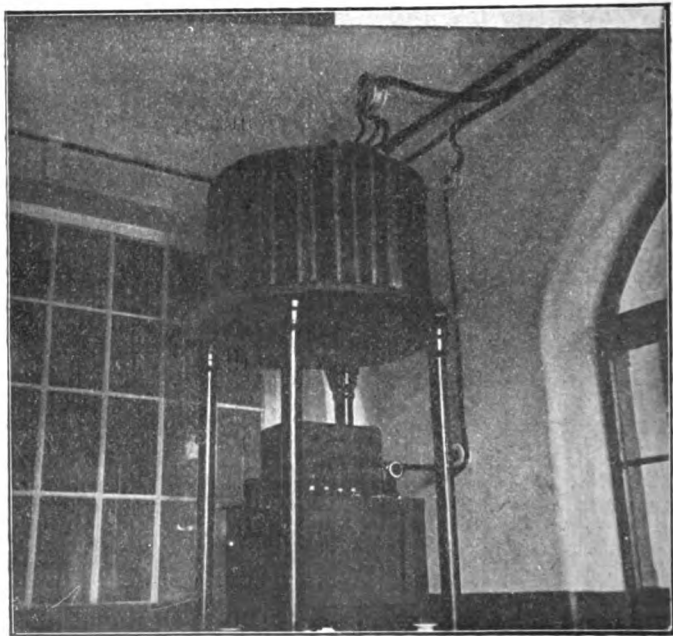
» La Sucrerie contient, comme récepteurs, une cinquantaine de

Fig. 8.



Chocolaterie Menier. — Alternateur compound de 15 kilowatts.

Fig. 9.



Transformateur de triphasé en diphasé et résonateur.

moteurs représentant ensemble une puissance totale d'environ 1200 chevaux.

» La figure 11 montre quelques-uns de ces moteurs, qui ont à conduire des broyeurs à boulets dont le démarrage est très pénible.

» Une partie de l'installation demande une description spéciale, eu égard aux particularités intéressantes qu'elle contient : c'est celle relative aux turbines. La conduite des turbines et essoreuses en sucrerie, et dans d'autres industries, mérite de fixer l'attention des électriciens ; on a en effet là à faire démarrer et arrêter en peu de temps des masses considérables tournant à de grandes vitesses angulaires.

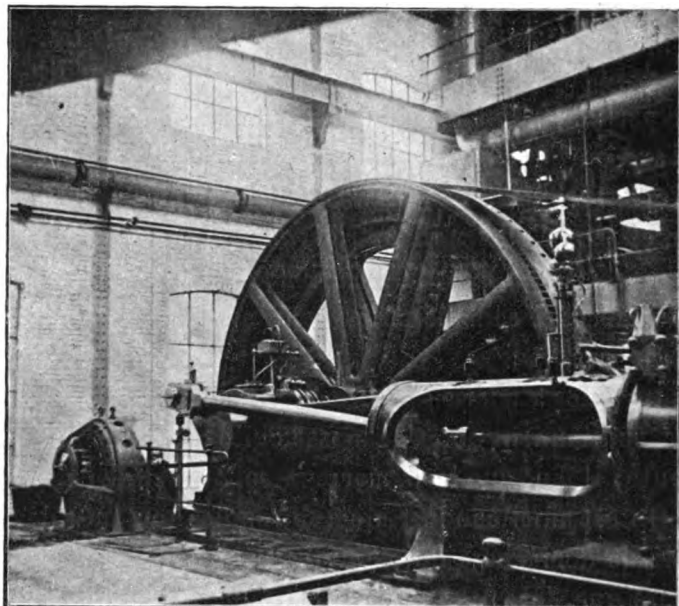
» Les turbines à sucre de la Société Cail, à panier de 1^m, 20 de diamètre, contiennent 300^{kg} de masse cuite et tournent à 1000 tours par minute ; il faut que le démarrage soit effectué en 60 à 70 secondes. On est ainsi conduit à employer des moteurs développant un couple de démarrage qui, en vitesse, correspondrait à 70 chevaux, alors que, lorsque l'appareil est lancé, la puissance absorbée par les frottements ne dépasse pas 5 chevaux.

» Une de ces turbines a été équipée à titre d'essai avec un moteur type γ avant la campagne 1900-1901 pour être éprouvée pendant cette campagne ; c'est celle représentée par la figure 12. A la suite de cette épreuve, M. Camuset, directeur de la Sucrerie, a décidé de faire faire pour la campagne 1901-1902 l'installation de 12 turbines de ce genre, destinées à remplacer dans l'avenir les 36 turbines ordinaires que possédait cette Sucrerie. En même temps on a perfectionné les procédés de mise en marche et d'arrêt, ainsi qu'il va être expliqué.

» L'énergie emmagasinée sous forme de force vive, lorsque la turbine est lancée, est d'environ 125 000^{kgm}, ce qui veut dire qu'avec un moteur électrique quelconque, en laissant de côté les pertes internes, il faut dépenser 250 000^{kgm} pour le démarrage, alors que les frottements pendant une opération complète n'absorbent pas plus de 40 000^{kgm} à 50 000^{kgm}. En résumé, pour une opération il faut dépenser 300 000^{kgm} dont 125 000 sont perdus dans des résistances pendant le démarrage, 50 000 sont réellement utilisés et 125 000 sont perdus à l'arrêt dans le freinage mécanique.

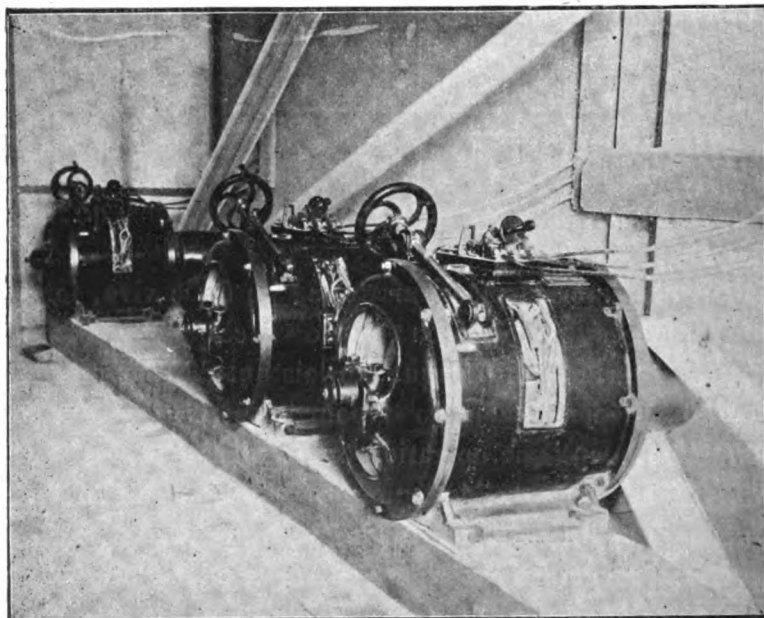
» Mais on peut diminuer dans de notables proportions l'énergie

Fig. 10.



Sucrerie d'Escaudœuvres. — Alternateur compound de 400 kilowatts.

Fig. 11.



Moteurs de 30 chevaux de la maison Breguet.

perdue, par l'emploi de plusieurs sources de courants polyphasés à des fréquences différentes.

» En démarrant successivement à des fréquences croissantes, le rendement moyen du démarrage s'améliore; d'autre part, au lieu de dissiper complètement à l'arrêt toute la force vive emmagasinée, on peut en récupérer une grande partie en remplaçant le moteur successivement sur les sources de courant qui ont servi au démarrage, mais en sens inverse; il fonctionne alors en générateur de courant watté récepteur de déwatté. Il faut naturellement que les tensions soient proportionnelles aux fréquences.

» Le Tableau suivant indique la répartition des différents travaux dans le cas de l'emploi de 2, 3, 4 fréquences, en supposant égal à 1 le travail dépensé lorsque l'on démarre sur une seule fréquence :

Emploi de	Dépense pendant le démarrage.	Récupération pendant l'arrêt.	Dépense résultante.
1 fréquence	1	0	1
2 " 	0,75	0,19	0,56
3 " 	0,67	0,29	0,38
4 " 	0,62	0,35	0,28

» Trois fréquences sont employées à la Sucrerie de Cambrai pour la manœuvre des turbines : 21,35 et 50 périodes par seconde. La fréquence 50 est celle de l'alternateur compound : les deux autres sont obtenues au moyen d'un alternateur plus petit, tournant à 420 tours par minute, commandé au moyen d'une courroie par le volant de l'alternateur compound : cet alternateur (*fig. 13*) est du type homopolaire, qui permet de réunir dans une seule machine les deux induits fixes de fréquences différentes et l'inducteur tournant, ayant d'un côté 3 épanouissements, de l'autre 5, et excité par une bobine magnétisante unique et fixe.

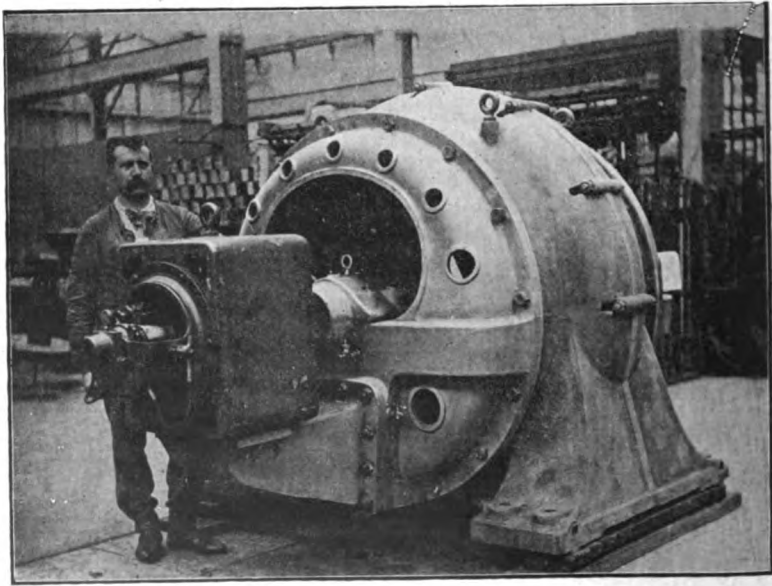
» Indépendamment de l'énergie économisée, d'autres avantages résultent de l'emploi des trois fréquences : une plus grande rapidité dans les démarrages, un échauffement moindre dans le moteur et une usure moins rapide des organes du freinage mécanique dans lesquels on n'a plus à dissiper que le quart de la force vive. La dépense correspondant à l'alternateur à deux fréquences est compensée en grande partie par une économie sur la puissance de l'alternateur à 50 périodes et de la machine à vapeur; en effet, puisque la dépense

Fig. 12.



Turbine à sucre avec moteur γ .

Fig. 13.



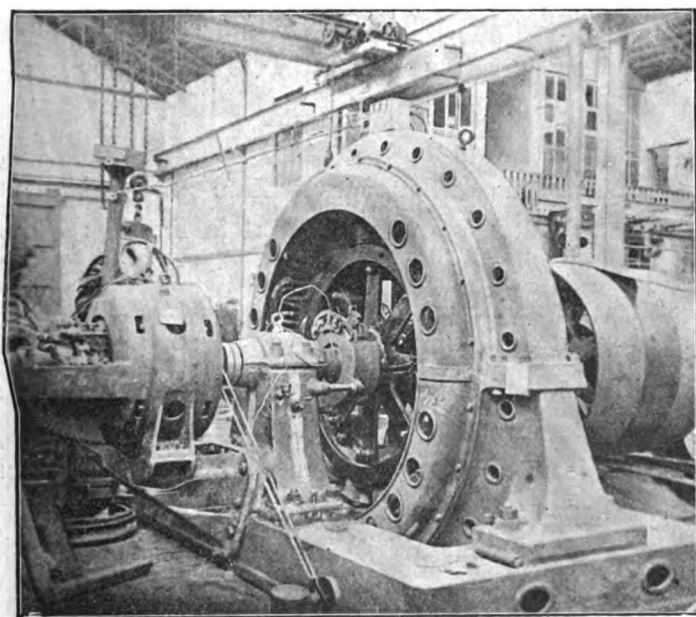
Sucrerie d'Escaudœuvres. — Alternateur à deux fréquences.

d'énergie est réduite pratiquement de moitié, il en résulte une diminution du même ordre sur la puissance de la machine à vapeur et une diminution de 25 à 30 pour 100 sur la puissance de l'alternateur à 50 périodes (dans le cas où ces deux appareils sont destinés uniquement au turbinage, naturellement).

» A Cambrai, les passages d'une fréquence à l'autre pendant le démarrage et pendant l'arrêt se font automatiquement au moyen d'un tachymètre commandé par la turbine et qui actionne, par l'intermédiaire de contacts, un servo-moteur contrôleur Sprague, lequel produit toutes les commutations. Tous les appareils de commande sont centralisés en un poste où se font les manœuvres des 12 turbines. Cette installation a fonctionné pendant toute la dernière campagne sucrière; je crois pouvoir affirmer que, parmi les moteurs existants, seul le moteur γ permettrait de résoudre le problème.

» L'alternateur qui vient ensuite dans l'ordre des réalisations est installé aux mines d'Anzin; il est représenté dans la figure 14.

Fig. 14.



Mines d'Anzin. — Alternateur compound de 300 kilowatts.

C'est un alternateur de 300 kilowatts, triphasé, à 2600 volts, 42 pé-

riodes, 315 tours par minute, mais qui doit aussi pouvoir fonctionner parfois à 46 périodes, 2800 volts, 345 tours par minute; il absorbe donc environ 500 chevaux dans ces conditions; naturellement, l'excitatrice est en bout d'arbre.

» Parmi les moteurs qu'il actionne, il s'en trouve un assez important représenté par la figure 15. C'est un moteur qui peut faire, à vitesse normale, 300 à 350 chevaux; il fonctionne ici à vitesse réduite et fournit environ 200 chevaux à 46 périodes.

» Enfin, d'autres alternateurs compounds ont encore été installés par la maison Breguet, que je ne ferai que mentionner :

» Un alternateur de 150 kilowatts aux mines de Malfidano;

» Un alternateur de 100 kilowatts aux mines d'Aniche;

» Deux alternateurs de 50 kilowatts à Gijon-Industrial, en Espagne;

» Et d'autres sont en construction, notamment deux de 200 kilowatts, à vitesse réduite, pour les mines de Bessèges.

» J'arrive maintenant au matériel construit par la Société des Applications de l'électricité de Liège; cette Société ayant dû, depuis le commencement de 1900, organiser ses ateliers, en même temps qu'elle entreprenait la construction de son matériel, le nombre des machines réalisées par elle est moins important, mais vous pourrez juger par ce qui suit que les résultats obtenus n'en sont pas moins tout à fait intéressants.

» C'est d'abord, aux charbonnages de Ham-sur-Sambre, un alternateur de 50 kilowatts à 500 volts dont la figure 16 donne un aperçu.

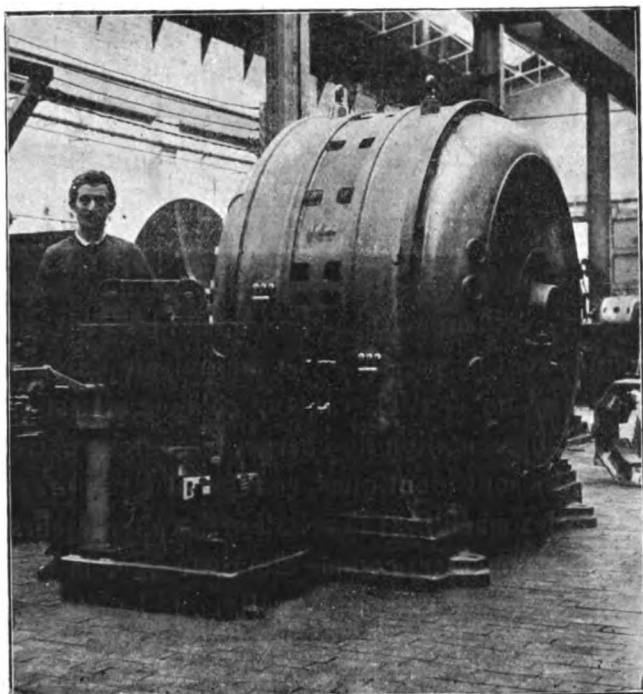
» Un autre, de même puissance, mais à 200 volts, est installé aux carrières de Boussu-en-Fagne.

» Un troisième, de même puissance, mais à 3200 volts, est à la Société *Electra* de Toranzo, en Espagne.

» Un autre, de 36 kilowatts, à 1500 volts, sera prochainement à la Penilla, de Cayon (Espagne).

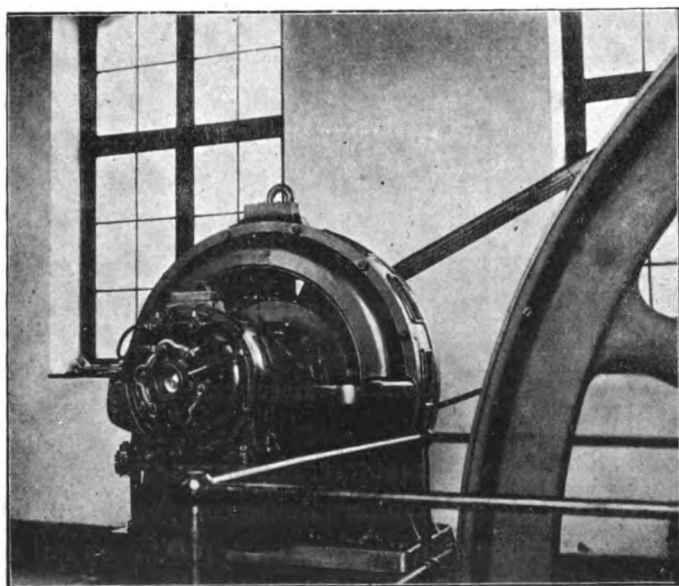
» Un alternateur compound de grandes dimensions est installé aux charbonnages d'Espérance et Bonne-Fortune, près de Liège. C'est un alternateur volant de 200 kilowatts, à 120 tours par minute, triphasé, 1000 volts, 42 périodes. Il est représenté dans la figure 17. C'est, comme celui de Cambrai, un alternateur à induit fixe inté-

Fig. 15.



Mines d'Anzin. — Moteur de 200 chevaux (normalement 350).

Fig. 16.



Charbonnages de Ham-sur-Sambre. — Alternateur compound de 50 kilowatts.

rieur aux inducteurs, pôles fixés à l'intérieur de la jante du volant, mais celui-ci n'a que 42 pôles. L'excitatrice, qu'on ne voit pas dans la figure parce qu'elle est de l'autre côté, est conduite par engrenages et tourne à 420 tours par minute.

» Cet alternateur est le troisième d'une salle de machines dont les deux autres, de même puissance, sont de Brown-Boveri. On a, à diverses reprises, fait marcher l'alternateur compound avec les deux autres en parallèle et, ainsi qu'on pouvait s'y attendre, l'ensemble est compoundé, c'est-à-dire que la tension se maintient constante, ce qui n'a évidemment pas lieu quand les deux alternateurs non compounds sont en parallèle. Le mécanisme du compoundage d'une station, par un seul alternateur compound, est simple; au moment d'une augmentation de charge, le courant watté nouveau, si les régulateurs sont identiques, se répartit à peu près uniformément sur toutes les machines; l'excitation des alternateurs non compounds devrait augmenter; comme elle reste fixe, la phase change un peu, et une partie du courant déwatté, que les alternateurs non compounds débitaient précédemment, passe sur l'alternateur compound qui subit, par conséquent, des à-coups de *courant* plus grands que les autres et dont l'existence est rendue plus pénible par ce fait. Il ne faut donc pas abuser de sa complaisance et prendre des dispositions à cet égard, ainsi que certaines autres précautions sur lesquelles je n'insisterai pas.

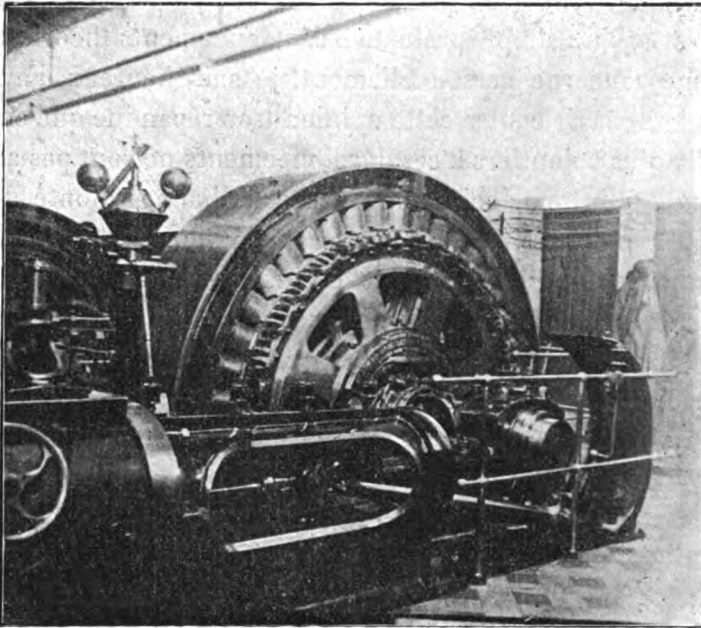
» Les diverses installations que je viens de citer comportent un certain nombre de moteurs représentant ensemble près de 700 chevaux.

» La figure 18 montre un moteur α de 10 chevaux de la Société des Applications de l'électricité; les deux stators sont mobiles.

» Deux moteurs de 150 chevaux sont installés aux Charbonnages d'Espérance et Bonne-Fortune; la Maison Breguet a construit plusieurs moteurs de ce type, dont la puissance à vitesse normale est de 200 chevaux.

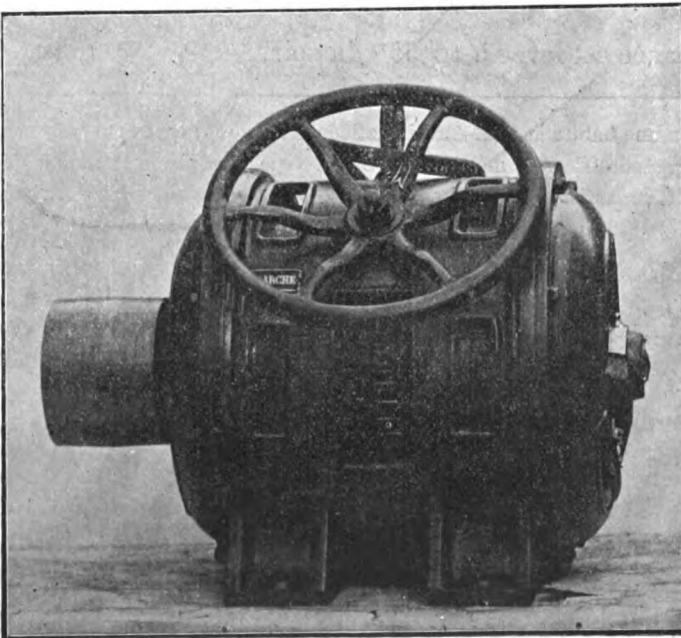
» Je viens donc de vous montrer, Messieurs, les réalisations les plus diverses d'un système d'alternateurs compounds, qui prouvent bien que celui-ci existe commercialement. Avec ceux qui sont près de marcher, cela représente une vingtaine de spécimens pouvant

Fig. 17.



Charbonnages d'Espérance et Bonne-Fortune. — Alternateur compound de 200 kilowatts.

Fig. 18.



Moteur α de 10 chevaux à la Société des Applications de l'électricité.

produire ensemble près de 3000 kilowatts (1). Je pense, par cet exposé rapide, vous avoir prouvé que le compoundage des alternateurs n'est pas un simple prétexte à développements théoriques. En ce qui me concerne personnellement, je suis heureux d'avoir pu contribuer à réagir contre cette opinion trop répandue que ceux qui se livrent plus volontiers à ces développements ne vont pas au delà. Mais il m'a fallu pour cela compter avec la bonne volonté de nombreuses personnes; je tiens à nommer particulièrement nos collègues MM. Brunswick et Fayot, qui ont le plus largement contribué à ce résultat; mais, comme toujours, beaucoup de dévouements doivent rester anonymes; je prie tous ceux qui m'ont donné leur concours d'agréer l'assurance de ma profonde gratitude, et vous remercie, Messieurs, de l'attention que vous avez bien voulu me prêter ce soir. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Boucherot.

Au cours de cette Séance, M. le PRÉSIDENT a informé l'Assemblée qu'une réunion supplémentaire serait tenue, à l'heure et dans le local habituels, le mercredi 18 juin courant; elle aura pour objet la discussion de M. Marius Latour *sur les alternateurs à collecteurs*.

La séance est levée à 10^h55^m du soir.

(1) Selon une habitude peut-être injustifiée, mais qui n'en existe pas moins, si l'on additionne génératrices et moteurs des divers types que j'ai eu l'honneur de présenter à la Société, on arrive à un total de près de 400 machines, ensemble environ 10000 chevaux.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES TRAINS

(suite) (1).

M. JACQUIN. — « Si l'on a proposé avant 1889 d'éclairer chaque voiture à l'aide d'une dynamo, comme le disait Sarcia dans sa Communication, il ne s'agissait en réalité que de simples revendications de brevets; personne n'avait songé réellement à appliquer ce système; la construction des grosses dynamos n'était pas suffisamment avancée pour que l'on pût édifier de petites machines pouvant être abandonnées seules sous un véhicule, et les systèmes employés ou essayés, souvent avec insuccès, pour l'éclairage des trains entiers étaient beaucoup trop compliqués pour être adaptés sur chaque voiture. C'est seulement lorsque la traction électrique amena la construction de dynamos robustes que des recherches furent réellement entreprises dans cette voie de différents côtés.

» En août 1893, j'ai soumis à une compagnie de chemins de fer un projet d'éclairage électrique autonome des voitures, comprenant une dynamo commandée par l'essieu et mise en circuit par un électro-aimant lorsque la vitesse lui avait fait atteindre une force électromotrice suffisante pour charger une petite batterie d'accumulateurs. Un commutateur, manœuvré par solénoïde, changeait les connexions de la dynamo avec les accumulateurs lorsque le train changeait de sens de marche. Enfin la force électromotrice de la dynamo était maintenue à peu près constante par un enroulement exciteur inverse intercalé en série dans le circuit de la dynamo. J'ignorais que le même procédé de régulation avait déjà été appliqué ou proposé en Angleterre pour l'éclairage des trains complets (Stroudley et Houghton); je n'avais fait d'ailleurs que m'inspirer d'un dispositif semblable connu et employé pour la régulation des

(1) Dans la première Partie (*Bulletin* de mai 1902), il a été omis le paragraphe suivant concernant le système Dick pour éclairage des trains entiers par une seule dynamo : « L'inversion des connexions de la dynamo avec les accumulateurs était produite par un basculeur comprenant six contacts à mercure, et qui était commandé par la rotation, à droite ou à gauche d'une sorte de dynamo excitée par les accumulateurs et ayant l'induit en série avec la dynamo principale ».

moteurs, mais peu usité à cause de la forte réaction d'induit et des étincelles auxquelles il donnait lieu lorsque le calcul des dynamos manquait de précision. Afin de faire disparaître les craintes auxquelles pouvait donner naissance le fonctionnement d'appareils purement électriques, j'ai présenté, en 1894, un nouveau projet d'éclairage autonome, ne comportant que des organes mécaniques comme appareils accessoires. Le commutateur d'enclenchement et de déclenchement de la dynamo était commandé directement par un régulateur centrifuge qui, par l'intermédiaire d'un levier à touches, faisait ensuite varier la résistance intercalée dans l'excitation de la dynamo, de manière à maintenir sensiblement constante la force électromotrice de la machine. Ces appareils n'offraient rien de particulier, mais ce qui était plus intéressant c'était le dispositif proposé pour maintenir constant le sens du courant, et qui consistait à laisser le collecteur de la dynamo, à 4 pôles, libre de tourner de 90° sur son axe, les lamelles de ce collecteur étant reliées aux bobines de l'induit par des fils souples ou par un plateau à gorges. Je ne crois pas qu'un dispositif de ce genre ait été proposé antérieurement, car les dispositifs du London Brighton et du Great Northern, que j'ignorais d'ailleurs, s'ils sont analogues comme construction, ont des fonctions différentes. L'apparition de l'acétylène fit mettre de côté mes projets, qui n'ont jamais été publiés.

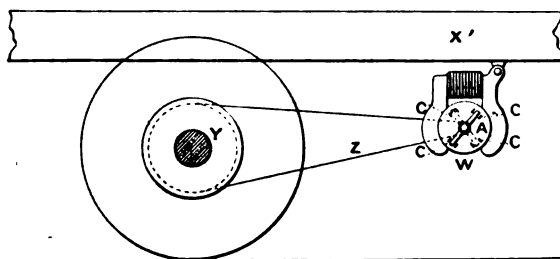
» A peu près à la même époque, c'est-à-dire vers 1894, fut essayé en Amérique le système Lewis : l'éclairage par voitures indépendantes, sur lequel il y eut peu de renseignements publiés. Le réglage de la dynamo était produit par une variation de la résistance d'excitation sous l'action d'un appareil à force centrifuge. Je crois que Lewis a proposé également l'emploi d'une petite dynamo auxiliaire commandée par l'essieu et qui envoyait dans un contre-enroulement exciteur de la dynamo principale un courant démagnétisant d'autant plus fort que la vitesse croissait davantage. Je ne sais pas si ce système a reçu des applications fermes.

» *Système Stone.* — Le système Stone, le premier qui ait reçu un développement important, date également de 1894 environ. Il fut d'abord expérimenté en Angleterre avant d'être présenté en France, où il fut essayé sur une voiture de l'Ouest en 1897. Dans le système

Stone, ainsi que dans tous les autres de la même classe, on retrouve les organes suivants : une ou deux batteries d'accumulateurs, une dynamo munie d'un système de régulation destiné à maintenir à peu près constante la force électromotrice, malgré les variations de vitesse, un inverseur pour maintenir constant le sens du courant allant aux accumulateurs, et un conjoncteur-disjoncteur fermant ou ouvrant la communication de la dynamo avec les accumulateurs; cet appareil doit en même temps insérer ou retirer du circuit une petite résistance d'absorption destinée à contre-balancer l'augmentation de tension des accumulateurs pendant la charge et intercalée entre les accumulateurs et les lampes ou entre la dynamo et les accumulateurs.

» Le système Stone est caractérisé par un mode de régulation tout à fait original. La force électromotrice de la dynamo est maintenue sensiblement constante, parce que la vitesse de la machine reste sensiblement constante quoique la vitesse du train varie de 30^{km} à 120^{km} à l'heure, et ce résultat est obtenu automatiquement par simple glissement de la courroie de commande de la dynamo. Cette dynamo W (*fig. 6*) est suspendue par une oreille latérale au

Fig. 6.

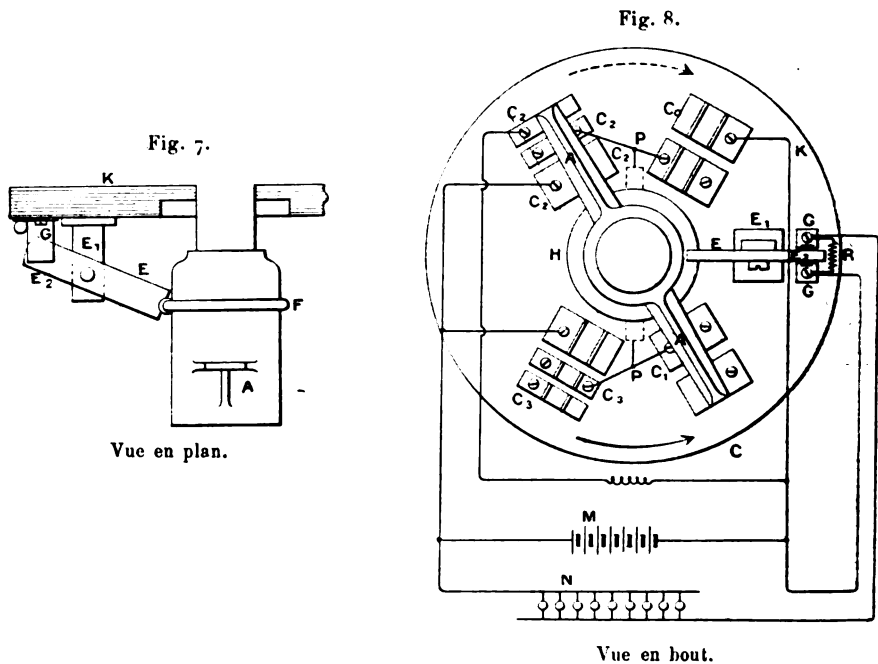


châssis X' du véhicule et sa position peut être réglée de manière que son poids produise sur la courroie z une composante de tension telle qu'à la vitesse de 40^{km} elle provoque un effort d'adhérence égal au couple résistant de la dynamo; au fur et à mesure que la vitesse augmente, l'effort d'adhérence devient de plus en plus insuffisant pour équilibrer le couple résistant plus élevé que tendrait à créer la dynamo, et le glissement de la courroie augmente de plus en plus. On pourrait craindre que dans ces conditions la courroie

ait une usure très rapide; la pratique a montré que cette crainte n'est pas fondée et que les courroies durent au moins un an.

» Dans les appareils Stone, tous les organes de conjonction et d'inversion ont un fonctionnement purement *mécanique*.

» Le sens du courant produit par la dynamo varie avec le sens de la marche, mais les connexions de la dynamo avec les accumulateurs sont inversées en même temps. La commutation s'effectue sur le plateau K (*fig. 8 et 9*) fixé sur l'arbre de la dynamo. Sur ce plateau sont fixées deux séries de pinces à ressort, C_0, C_3 et C_1, C_2 (*fig. 8*).

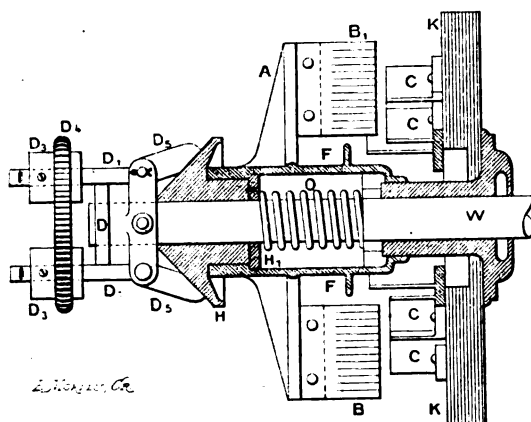


dont les lames extérieures forment deux butées entre lesquelles peut osciller d'un certain angle un peigne ABB_1 (*fig. 9*) solidaire d'un manchon F monté fou sur l'arbre W; suivant que celui-ci tourne dans un sens ou dans l'autre, le manchon F est entraîné à droite ou à gauche jusqu'à ce que le peigne ABB_1 vienne buter soit contre C_2 , soit contre C_3 (*fig. 8*); les connexions de ces pinces sont établies de telle sorte que dans les deux cas les accumulateurs sont toujours reliés aux mêmes pôles de la dynamo.

» La conjonction et la disjonction s'effectuent aussi mécaniquement, sous l'action de la force centrifuge. A cet effet, sur l'arbre W

de la dynamo (*fig. 9*) est claveté un manchon D, sur lequel sont

Fig. 9.



Vue en élévation.

montés deux bras D₁ portant deux masses pesantes D₂, maintenues serrées par un ressort en tore D₄; les bras D₁ se prolongent par deux mâchoires D₃, appliquées sur un cône H solidaire de la douille F, maintenue éloignée du plateau K par un ressort à boudin O. Au fur et à mesure que la vitesse augmente, les poids D₂ s'écartent malgré l'action de la bague D₄; les leviers D₁, en s'élevant, font serrer les mâchoires D₃ sur le cône H, solidaire de la douille F, qui se trouve poussée, malgré l'action du ressort O, contre le plateau K; il en résulte que le peigne ABB', fixé sur la douille F, qui a déjà été dirigé, dès la mise en route, contre la branche externe de la pince C₂ ou C₃ (*fig. 8*), pénètre dans les lames de cette pince et en même temps dans les lames de la pince opposée C₁ ou C₄, et établit d'une façon ferme la liaison de la dynamo avec les accumulateurs.

» La mise en circuit de la résistance d'absorption est effectuée par un levier accessoire E (*fig. 7* et 8), mobile sur une colonnette E₁, vissée sur le plateau K. Lorsque la douille F (*fig. 7*) est poussée vers la dynamo, elle entraîne, par son bourrelet F, le levier E dont l'extrémité E₂, qui était engagée entre deux pinces G (*fig. 8*) et mettait ainsi en court-circuit la résistance R, se trouve soulevée (*fig. 7*) et détruit le court-circuit. Les opérations inverses se produisent à l'arrêt.

» Le système Stone a d'abord fonctionné avec une seule batterie.

Lorsque le train était à l'arrêt, les lampes étaient alimentées directement par les accumulateurs. A partir d'une certaine vitesse de marche, le conjoncteur reliait directement la dynamo avec la batterie, mais intercalait une résistance d'absorption entre la batterie et les lampes, cette résistance étant ensuite mise en court-circuit à la disjonction. Ce système a été essayé dans quelques compagnies anglaises en 1895 et 1896, et à l'Ouest français de février 1897 à mai 1898, sur une voiture de première classe à quatre compartiments. Ainsi que j'ai pu le constater sur cette voiture, circulant entre Paris et le Havre, le système à simple batterie donnait lieu à des variations de lumière continues et assez étendues, dont l'explication sera donnée plus loin.

» La maison Stone, qui s'était vite rendu compte des défauts du système à simple batterie, avait d'abord cherché à masquer ces défauts en faisant usage de lampes consommant 4 watts par bougie et, par conséquent, peu sensibles aux variations du potentiel; des 1897 elle abandonna résolument le système à simple batterie et ne fit plus usage que d'un dispositif à double batterie. Dans ce dispositif, représenté sur la figure 12, l'une des batteries A est reliée directement, pendant la marche de nuit, à la dynamo D, tandis que la seconde batterie B n'est reliée à la dynamo que par l'intermédiaire d'une résistance R calculée de façon que cette batterie ne reçoive pas ou très peu de courant de charge et serve seulement de volant régulateur pour transmettre aux lampes L, branchées sur ses bornes, le courant envoyé par la dynamo D. Pendant les arrêts, le commutateur automatique monté sur l'arbre de la dynamo, en même temps qu'il ouvre le circuit de celle-ci, couple les deux batteries A et B en parallèle sur les lampes, sans intercalation de résistance; plus exactement, une très faible fraction de la résistance R est laissée entre la batterie A et la batterie B, pour compenser le coup de fouet dû à la charge toute fraîche de la première; dans ces périodes d'arrêts, le courant consommé par les lampes est fourni entièrement et par parties plus ou moins égales par les deux batteries d'accumulateurs. Le commutateur général d'allumage et d'extinction des lampes est disposé de manière que, pendant la marche de jour, la résistance R soit mise en court-circuit et que, par suite, les deux batteries A et B, couplées en parallèle, soient reliées directement à la

dynamo et mises toutes deux en pleine charge. La position relative des batteries A et B est intervertie automatiquement lorsque la marche du train change de sens.

» Le système à double batterie comporte exactement les mêmes organes que celui à simple batterie; les connexions du commutateur général sont seulement légèrement modifiées. Au lieu d'employer une batterie donnant 7 à 9 heures d'éclairage, on en prend deux donnant chacune 4 à 5 heures; mais, comme il y a un nombre double d'éléments plus petits, le poids et le prix total d'accumulateurs se trouvent augmentés sensiblement.

» Le système Stone à double batterie donne une lumière beaucoup plus régulière que celui à simple batterie. Il n'y a pas de fluctuation appréciable pendant la période de marche : on remarque seulement une légère baisse subite de lumière au moment de l'arrêt et une hausse assez brusque peu de temps après le démarrage, au moment de la mise en circuit de la dynamo. La variation de tension correspondante est, en général, de 24 à 27 volts; toutefois, je sais que, dans certains cas, le potentiel peut monter plus haut, à 30 volts, et même davantage. J'ai appris que, dans certaines Compagnies, on constatait, au contraire, de temps en temps, un épuisement complet des accumulateurs, qu'il fallait désulfater et recharger à poste fixe. La discussion de ces phénomènes sera donnée plus loin.

» Le système Stone a l'avantage de ne comporter aucun organe accessoire électrique et seulement des organes mécaniques de construction robuste dont les ratés sont presque impossibles et qui demandent peu d'entretien. Dans son ensemble, le fonctionnement du système Stone à double batterie est satisfaisant en pratique; la preuve en est dans le développement rapide qu'il a pris en Angleterre en quelques années : introduit en 1897, il était déjà appliqué à la fin de 1898 (d'après une enquête faite sur place auprès des Compagnies de chemins de fer anglaises) sur 800 voitures. Il est monté à présent, d'après des publications récentes, sur près de 3000 voitures du Royaume-Uni; la Compagnie du London-Chatham à elle seule possède un millier de voitures équipées, le London and North Western, 800 voitures. Les Compagnies du London and South Western et du Great Northern sont à peu près les seules qui aient peu ou beaucoup d'appareils Stone. Sur les chemins de fer de l'État

belge, le système Stone a pris également un grand développement. D'après les renseignements qui me sont fournis par M. L'Hoest, ingénieur de cette administration, on a équipé, en 1899, 200 voitures de deuxième classe, 6 voitures à bogies, 30 voitures de première classe et la berline royale; 141 nouvelles voitures de deuxième classe viennent d'être mises en service; il y a donc actuellement 377 voitures munies des appareils Stone, et il y en aura prochainement 810, car on doit appliquer le même système sur 443 voitures en cours de construction. La Compagnie des Wagons-Lits, après avoir entrepris l'essai du système Stone à la fin de 1897 sur un wagon-restaurant circulant entre Paris et Dijon, l'a appliqué progressivement sur une grande partie de ses wagons-restaurants circulant dans tous les pays, y compris l'Égypte: 120 wagons sont actuellement munis de l'équipement Stone. La Compagnie française de l'Ouest a, depuis juillet 1900, 14 voitures de première classe, dont 8 à couloir partiel, consommant 72 bougies, et 6 à bogies consommant 168 bougies, éclairées par le système Stone; l'équipement des premières pèse, au total, 780^{kg}, et celui des dernières, qui comporte une dynamo d'un modèle plus gros, 1400^{kg}, accumulateurs E.P.S. compris. La Compagnie P.-L.-M. a monté les appareils Stone sur une voiture à bogies, mais simplement à titre d'essai. Le système Stone n'a pas reçu d'autres applications en France, faute surtout d'un représentant construisant les appareils dans ce pays. Pour la même raison probablement, on ne trouve qu'à un ou deux exemplaires des équipements Stone dans les autres parties du continent: au Gothard, aux chemins de fer italiens de la Méditerranée, sauf au Jura-Simplon, où 28 voitures sont en cours de montage. En Allemagne, la Société Böse, qui a entrepris récemment la construction des appareils Stone, a équipé, avec ce système, quelques voitures des chemins de fer bavarois, badois, du Palatinat, de l'Alsace-Lorraine et des postes allemandes. Dans les chemins de fer prussiens proprement dits, toutes les voitures sont appareillées pour l'éclairage au gaz; il n'y a qu'une seule voiture Stone à l'essai.

» Le système Stone a été appliqué aux États-Unis sur un certain nombre de voitures par la maison Gould, qui l'a légèrement modifié.

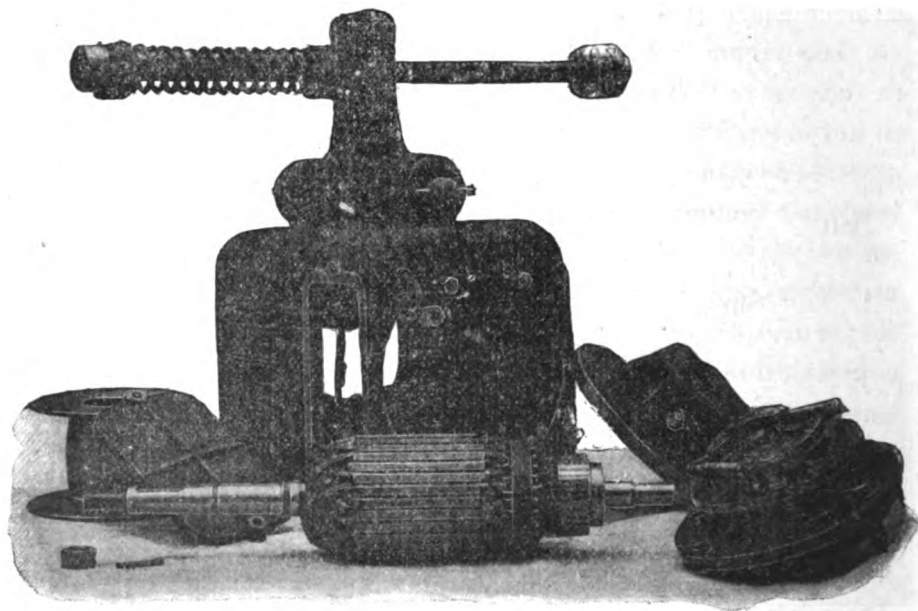
» *Système Vicarino.* — Le système Vicarino, dont les brevets datent d'avril 1898, est caractérisé par le mode de régulation de la force électromotrice de la dynamo, à l'aide d'un contre-enroulement excitateur-série, comme cela a été réalisé, il y a une quinzaine d'années, dans les systèmes anglais (Stroudley et Houghton et du Great Northern) décrits précédemment.

» Le système Vicarino a d'abord fonctionné avec une seule batterie, comme le système Stone. Les premiers essais ont été entrepris en novembre 1898 sur une voiture de tramway de la Compagnie générale des Omnibus. La dynamo, montée sous le châssis du véhicule, était commandée par l'essieu à l'aide d'un jeu de galets de friction. Le conjoncteur-disjoncteur était constitué par un solénoïde agissant sur un fléau de balance dont les bras plongeaient dans deux cuvettes à mercure. Le basculement de cet appareil mettait en circuit une résistance d'absorption intercalée dans le circuit des lampes. Les voitures de tramways marchant toujours dans le même sens, il n'y avait pas à prévoir d'inverseur. Après quelques mois, les essais furent abandonnés, parce que l'on constatait des épuisements fréquents des accumulateurs. Il est vrai que le système travaillait dans les conditions les plus défavorables que l'on puisse rencontrer : dans le parcours des tramways, les arrêts, les démarrages et les ralentissements représentent une durée beaucoup plus grande que la période de marche à pleine vitesse; la dynamo n'est donc pas reliée suffisamment longtemps à la batterie pour que celle-ci puisse se recharger, surtout si l'on ne marche qu'avec une seule batterie; d'ailleurs, avec un système auto-générateur quelconque, même à double batterie, il paraît difficile d'éclairer régulièrement des tramways.

» La Compagnie générale électrique de Nancy, qui construit les appareils Vicarino, avait d'abord eu l'intention de se servir du solénoïde à balancier employé aux omnibus, comme inverseur, sur les voitures de chemins de fer dans lesquelles il faut prévoir des changements de sens de marche, et de produire la conjonction-disjonction à l'aide d'un autre appareil; mais elle renonça à ce modèle d'inverseur à mercure, M. Vicarino ayant trouvé un moyen mécanique beaucoup plus simple de maintenir constant le sens du courant de la dynamo. Ce procédé consiste à intervertir la position des

deux balais, suivant le sens de la rotation de la dynamo. A cet effet, les porte-balais sont fixés sur une couronne qui peut se déplacer de 180° sur un plateau vertical formant paroi latérale du bâti. (On peut voir l'ensemble de ces pièces sur la droite de la figure 10, qui

Fig. 10.



Dynamo Vicarino démontée.

montre les diverses parties de la dynamo démontée.) La mise en marche de l'induit provoque l'entraînement des balais et la rotation de la couronne, dans un sens ou dans l'autre, jusqu'à l'une ou l'autre des butées du plateau. Ce dispositif mécanique fonctionne parfaitement.

» Le conjoncteur-disjoncteur employé dans les premières applications réalisées sur les trains fonctionnait avec des contacts à mercure, mais sa construction était déjà beaucoup plus robuste que celle du conjoncteur-disjoncteur à balancier. C'est un solénoïde dans lequel se déplace un cylindre en fer doux. Au repos, la tige qui forme l'extrémité inférieure de ce cylindre plonge dans une cuvette fixe à mercure et met ainsi en court-circuit la résistance d'absorption, et la partie supérieure du noyau, qui est creusée en forme de cuvette mobile à mercure, n'est pas en contact avec une tige fixe supérieure reliée à la dynamo. Lorsque la dynamo a atteint une force

électromotrice suffisante, correspondant à une vitesse de 30 kilomètres : heure, le cylindre en fer doux étant attiré, la cuvette mobile est soulevée et vient établir le contact avec la tige fixe supérieure, ce qui ferme le circuit de la dynamo ; en même temps, la tige mobile sort de la cuvette inférieure fixe et met en circuit la résistance d'absorption.

» Des essais ont été entrepris avec ces appareils, au début de 1899, sur quelques voitures de l'Ouest, de l'État et du Midi, et, en 1900, de l'Est. Dans toutes ces Compagnies, les dynamos ont d'abord été commandées par un galet en cuir recevant son mouvement, par friction, d'une poulie en fonte trois fois plus grande calée sur un essieu ; le point de contact se trouvait sensiblement sur un plan horizontal, et le galet était maintenu appliqué par un ressort fixé au bâti du véhicule et appuyant sur la dynamo mobile autour d'un tourillon, de façon que celle-ci puisse suivre les déplacements verticaux du châssis de la voiture par rapport à l'essieu. La commande par galet, qui avait été adoptée parce qu'elle paraissait plus simple que celle par courroie, a été abandonnée au bout d'un an environ de service ; elle donnait de bons résultats en été, mais, pendant les périodes de neige et de gelée, on a constaté des manques d'entraînement complets dus à une couche de givre qui se formait sur le galet. L'expérience ayant montré que, dans les mêmes conditions atmosphériques, le fonctionnement par courroie n'éprouvait aucune altération, la commande par galets a été remplacée progressivement par celle à courroie sur les voitures de l'État, de l'Orléans et les deux de l'Est montées en 1900. La commande par courroie a été ensuite appliquée sur tous les autres équipements Vicarino installés à partir de 1901.

» Comme il arrive pour toute fabrication nouvelle, diverses modifications de détail ont été apportées aux appareils primitifs ; certains organes de la dynamo, et notamment les porte-balais et les paliers, ont été renforcés ; la lubrification à la graisse, qui permettait des grippements, a été remplacée par le graissage à l'huile. Le disjoncteur à mercure donnait lieu quelquefois à des ratés ; lorsque le mercure était devenu sale et oxydé, il se formait une étincelle et une liaison permanente entre la tige fixe et la cuvette supérieure du noyau qui restait aspirée et ne retombait pas au moment de

l'arrêt. Ces manques de disjonction avaient des conséquences très fâcheuses : la dynamo restait reliée aux accumulateurs, quoique se trouvant au repos; les accumulateurs se déchargeaient sur elle et se trouvaient immédiatement épuisés, ainsi que je l'ai relevé sur un diagramme de voltmètre enregistreur dont je vous ai parlé l'année dernière ⁽¹⁾ à propos de l'emploi des appareils enregistreurs sur le matériel roulant. La Compagnie générale électrique a remplacé depuis un an tous ses disjoncteurs à mercure par des appareils à contact métallique. On peut voir cet appareil en haut du petit tableau représenté sur la figure 11. Il fonctionne de la même manière que

Fig. 11.

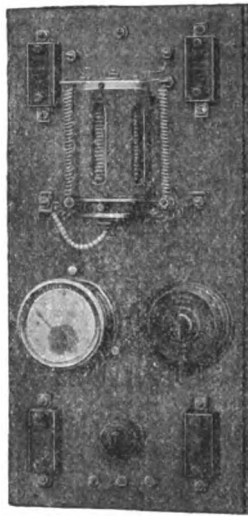


Tableau des appareils accessoires Vicarino.

l'ancien, mais la position des contacts est intervertie; la mise en circuit de la dynamo se fait par le bas, par une palette légèrement flexible et solidaire du noyau qui vient appuyer sur une platine fixe, au moment de l'aspiration; au repos, la résistance d'absorption est mise en court-circuit par une traverse supérieure légèrement flexible, solidaire également du noyau et qui repose sur une couronne fixe. Cet appareil est plus robuste que le premier et ne produit pas de collages; mais, dans certains cas où il est exposé aux poussières, les lames plates horizontales peuvent donner de

(¹) Voir *Bulletin*, avril 1901, p. 180.

mauvais contacts. Pour y remédier, la Compagnie générale électrique constitue maintenant les contacts avec plusieurs lames appuyant de champ sur des platines légèrement coniques, sur lesquelles la poussière se trouve chassée par la manœuvre même des balais. Il est certain que le conjoncteur-disjoncteur électrique Vicarino, par son essence même, ne sera jamais aussi robuste que les appareils purement mécaniques de Stone. Mais, grâce aux perfectionnements successifs qu'il a subis, on peut le considérer maintenant comme présentant une sécurité de fonctionnement suffisante.

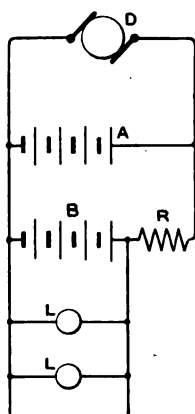
» Le système Vicarino comporte quatre modèles de dynamos de grosseur différente : un type DV₀ très petit, qui n'a pas encore été appliqué et a peu de chance de l'être, je crois, pour voitures à compartiments séparés, ne consommant pas plus de 50 bougies ; un type DV₁ pour voitures à couloir ayant de 50 à 80 bougies ; un type DV₂ pour voitures à bogies, de 80 à 150 bougies, et enfin un type DV₃ employé sur un wagon-poste bavarois abondamment éclairé, prenant plus de 200 bougies. La Compagnie générale électrique emploie, pour le système Vicarino, des accumulateurs du type Pollak avec plaques à crochets empâtés, dont elle a entrepris la construction en France et qui sont assez légers. Dans le système à batterie unique, les accumulateurs Pollak employés représentent une capacité de 8 à 9 heures d'éclairage ; le poids total de l'équipement Vicarino DV₁ est de 700^{kg} environ, et celui de DV₂, 1000^{kg} ; ces poids sont sensiblement moins élevés que ceux des équipements Stone correspondants, ce qui s'explique puisque ces derniers ont deux batteries représentant ensemble une capacité supérieure et que les accumulateurs sont d'un type plus lourd.

» Toutes les voitures montées par la Compagnie générale électrique, jusque dans ces derniers mois, fonctionnent avec le système Vicarino à simple batterie. Ce sont 33 voitures de l'État français, 28 de l'Ouest, 3 de l'Orléans, 2 du Midi, 1 du P.-L.-M., 15 du Chemin de fer de Madrid à Saragosse, 5 wagons-restaurants circulant sur la ligne précédente, 5 voitures russes et quelques autres. Les compartiments sont bien éclairés lorsque les roulements des voitures ne changent pas ; on constate seulement que les lampes sont très brillantes en pleine marche, qu'elles s'usent assez vite et qu'elles paraissent sombres à l'arrêt.

» Pour remédier à cet inconvénient, M. Vicarino, qui, au début, recommandait de charger la batterie pendant la marche de jour, a d'abord rendu cette charge impossible sur presque toutes les voitures, en faisant couper le circuit d'excitation par la manœuvre même d'extinction de l'interrupteur principal du circuit des lampes. Il a ensuite cherché à empêcher l'élévation de tension aux bornes de la batterie et, par suite, des lampes, à l'aide d'un solénoïde analogue au conjoncteur-disjoncteur qui, lorsque la tension aurait atteint, par exemple, 2,5 par élément, aurait introduit en série avec les accumulateurs une résistance ayant pour effet de réduire le courant total fourni par la dynamo à peu près au débit des lampes, de sorte que les accumulateurs n'auraient reçu presque plus rien ; le solénoïde serait revenu au repos et aurait mis la résistance en court-circuit lorsque les accumulateurs, après avoir débité pendant les arrêts, seraient retombés à 2,2 volts par élément. M. Vicarino abandonna cette idée après quelques essais de laboratoire qui lui montrèrent qu'il n'était pas possible d'obtenir des enclenchements et des déclenchements certains du solénoïde dans des limites précises aussi restreintes.

» Il a décidé alors d'user de *deux* batteries, montées exactement comme dans le système Stone (voir schéma de la figure 12). La

Fig. 12.



seule différence se trouve dans le mode d'intervention des batteries ; leur position, au lieu de dépendre automatiquement du sens de la rotation de la dynamo, est changée par la manœuvre même du com-

mutateur général d'allumage de la voiture, c'est-à-dire après chaque grande période d'éclairage. Le nouveau système Vicarino à double batterie comporte, en outre, un organe qui n'existe pas dans le Stone : le limiteur de tension. C'est un électro-aimant branché en dérivation sur les accumulateurs et dont l'attraction de la palette, qui se produit lorsque la tension des éléments s'élève à 2,6 volts, a pour effet d'intercaler dans l'excitation shunt de la dynamo une résistance telle que son débit se trouve réduit des $\frac{2}{3}$ environ et qu'il ne passe presque plus rien dans la batterie en pleine charge A (*fig. 12*). Dans le système Vicarino à double batterie, comme dans le Stone, les deux batteries reliées directement en parallèle avec la dynamo sont laissées en charge pendant les parcours de jour qui ne comportent pas d'éclairage. Les batteries ont chacune une capacité de 5 à 6 heures d'éclairage, ce qui augmente sensiblement le poids et le prix des équipements et les rapproche de ceux des équipements Stone. Le système Vicarino à double batterie a été monté sur deux bureaux-postes de la ligne du Havre, où il circule depuis 3 mois, et vient d'être appliqué sur 10 voitures à intercirculation de l'Est et sur 8 bureaux-postes circulant sur le réseau P.-L.-M.

» *Système Auvert.* — La Compagnie P.-L.-M. a entrepris, en février 1899, sur une voiture, l'essai d'un système imaginé par M. Auvert, ingénieur des services électriques de cette Compagnie. Après un an d'essai, ce système a été appliqué sur 56 voitures à bogies mises en service dans le cours de l'année 1900.

» Sur la voiture à trois essieux qui a servi aux essais, la dynamo suspendue au châssis était commandée par un galet appliqué contre la face latérale interne du boudin d'une roue. On n'avait pas employé pour cet essai la commande par courroie, parce que celle-ci, tout en restant dans le gabarit, n'aurait pas permis le passage de la voiture sur les chariots transbordeurs des gares (cette difficulté ne s'est pas présentée avec les autres systèmes dont les dynamos sont moins volumineuses). Mais sur les voitures à bogies, qui ne sont jamais manœuvrées par chariots, on s'est servi de la commande par courroie. Une poulie en fonte est calée sur l'un des essieux du bogie, elle actionne une poulie dont le palier est fixé sous le châssis et qui commande par une articulation à rotule la dynamo fixée à côté; l'arti-

culution est destinée à permettre à la courroie de suivre les déplacements horizontaux du bogie, par rapport à la caisse du véhicule. La dynamo peut fournir un débit de 40 ampères sous 35 volts. Le système Auvert fonctionne avec une seule batterie en dérivation sur les lampes, dont le circuit contient une résistance d'absorption.

» Le conjoncteur-disjoncteur se compose d'un électro-aimant vertical dont la palette, rappelée par un ressort à boudin, vient en contact, lorsqu'elle est attirée à une certaine tension de la dynamo, avec une platine fixe. Le contact, qui se faisait d'abord sur pièces plates d'argent, est établi maintenant par deux pièces coniques qui s'appliquent mieux l'une contre l'autre.

» La résistance d'absorption des lampes est intercalée par un appareil spécial distinct du conjoncteur. La résistance, disposée sur un socle, est divisée en trois parties reliées à trois lames de laiton flexibles dont les extrémités, avec contacts en argent, sont réglées à des hauteurs légèrement différentes par trois vis de pression. Au repos, ces trois lames sont ployées à fond, c'est-à-dire que les trois parties de la résistance sont en court-circuit par une large palette articulée, dont l'autre extrémité se trouve au-dessus d'un électro-aimant branché sur la dynamo. L'armature de cet électro est réglée de façon que l'attraction commence à peu près au moment où le conjoncteur vient de fonctionner; la lame réglée à la hauteur la plus basse est libérée la première et introduit en circuit le premier tiers de la résistance d'absorption; lorsqu'ensuite la force électromotrice augmente un peu, par suite d'augmentation de la vitesse, l'armature quitte successivement le contact des deux autres lames. Inversement, au moment du ralentissement de la dynamo, les trois fractions de la résistance sont mises successivement en court-circuit. En pratique, l'attraction et le décollage de l'armature se produisent complètement en quelques secondes, de sorte que la résistance se trouve mise en circuit ou hors circuit à peu près en une seule fois.

» L'inverseur, qui change les connexions entre la dynamo et les accumulateurs lorsque le sens de la marche varie, était constitué, pendant les essais, par un fléau portant des contacts en argent à ses deux extrémités et qui basculait à droite ou à gauche sous l'influence de deux solénoïdes. L'appareil définitif ressemble un peu à une petite dynamo; il est composé par un électro-aimant, excité par la dynamo,

à cornes polaires cylindriques entre lesquelles peut tourner une armature en forme de tambour, polarisée par les accumulateurs; suivant que ce tambour se déplace vers la droite ou vers la gauche, il entraîne dans un sens ou dans l'autre une palette munie de doubles contacts qui viennent buter sur l'une ou l'autre de deux paires de lames flexibles ayant des connexions inverses.

» Le système Auvert est caractérisé par un procédé tout spécial de réglage de la tension fournie aux accumulateurs. On oppose à la force électromotrice de la dynamo une force contre-électromotrice progressivement croissante avec la vitesse et produite par un moteur régulateur. Ce régulateur est une petite dynamo-série, intercalée dans le circuit principal de débit de la dynamo et dont l'induit porte un disque en bronze de 15^{cm} de diamètre sur lequel appuient deux frotteurs en charbon, réglés avec une certaine pression. Lorsque la vitesse du train atteint 50^{km} à l'heure, c'est-à-dire peu de temps après la conjonction, la force électromotrice de la dynamo génératrice développe dans le petit moteur un couple égal au couple résistant des balais et le moteur commence alors à tourner. La vitesse et, par suite, la force contre-électromotrice qu'il développe s'accroissent ensuite proportionnellement à l'élévation de force électromotrice de la génératrice, de sorte que le débit de la dynamo et, par suite, la différence de potentiel appliqué aux accumulateurs restent sensiblement constants.

» A ce mode de régulation, M. Auvert en a adjoint un autre, consistant à placer sur l'excitation de la dynamo génératrice un contre-enroulement à fil assez fin branché aux bornes du moteur régulateur et qui exerce par conséquent sur le champ de la génératrice une action démagnétisante d'autant plus forte que le régulateur tourne plus vite. De cette façon, la force électromotrice développée par la génératrice est loin de croître aussi rapidement que la vitesse du train, et le moteur régulateur n'a pas besoin d'atteindre des vitesses très élevées, qui useraient assez vite les balais.

» Grâce à ce double réglage, le courant total débité par la dynamo en marche, et par suite le courant de charge des accumulateurs, ne varient pour ainsi dire pas avec la vitesse. Il est donc assez facile de régler la dynamo de façon que les accumulateurs, pour un parcours déterminé, reçoivent, avec un excédent très faible, ce qu'ils con-

somment pendant les arrêts. (Les accumulateurs en marche reçoivent toujours un courant de charge et l'on ne fait pas de charge pendant la marche de jour.) Mais si les voitures changent de roulement et passent dans des trains où la proportion des temps d'arrêt au temps de marche pendant un voyage complet est plus faible ou plus grande, il peut y avoir survoltage aux lampes (la résistance totale d'absorption des lampes étant calculée pour une tension en marche des accumulateurs de 2,3 volts et non de 2,5 ou 2,6 volts) ou épuisement des accumulateurs, ainsi que cela se produit dans tous les systèmes à batterie unique, comme il sera expliqué plus loin. La difficulté pourrait être tournée, si la résistance totale était calculée pour 2,6 volts et pouvait n'être intercalée ou retirée que par fractions successives, au fur et à mesure de la variation de tension des accumulateurs; mais, comme il a été dit il y a un instant, cette progression n'est pas réalisable pratiquement.

» La batterie unique du système Auvert représente environ 8 heures d'éclairage sur les voitures à bogies du P.-L.-M.

» Le système Auvert a été appliqué à titre d'expérience sur trois voitures de l'Ouest.

» Ce système est très ingénieux comme conception; tous les appareils qui le composent sont largement calculés et de construction robuste, c'est-à-dire bien appropriés à un service de chemins de fer; mais il comporte un plus grand nombre d'organes accessoires que les autres systèmes, ce qui le rend sensiblement plus lourd et plus coûteux à établir.

» *Système américain.* — On fait usage en Amérique, depuis 1896, du système Moskowitz plus ou moins modifié. Les appareils de ce système sont construits depuis peu de temps en Angleterre par la maison Vickers, Maxim et C^{ie}. Je manque de renseignements sur les détails de construction et sur l'importance des applications de ce système. Je crois qu'il ne comporte qu'une seule batterie et que la force électromotrice de la dynamo est réglée par un rhéostat d'excitation commandé automatiquement par un servo-moteur électrique. Il y a quatre équipements à l'essai depuis 2 mois au chemin de fer écossais du Caledonian et quelques unités dans d'autres Compagnies anglaises.

» *Système Dick.* — Le système Dick a été appliqué dans ces dernières années à l'éclairage des voitures isolées. Les ateliers Schuckert, de Vienne, qui construisent à présent les appareils Dick, m'écrivent qu'ils ont équipé quinze voitures fonctionnant sur les chemins de fer de l'État autrichien et sur d'autres petites Compagnies. D'après une brochure qui m'a été communiquée par la Société Schuckert, les appareils sont tout à fait semblables à ceux destinés à l'éclairage de trains entiers, mais un peu plus petits. L'inverseur à mercure a été supprimé et l'inversion est effectuée simplement par la rotation des porte-balais. Le conjoncteur-inverseur et le régulateur sont placés dans une petite armoire logée dans le couloir de la voiture. On fait usage de deux batteries, suivant le montage du système Stone, et d'un limiteur de tension. La résistance intercalée dans le circuit de la batterie d'éclairage est réglée de façon que cette batterie ne reçoive jamais de courant en marche, comme dans le système pour trains en bloc.

» *Système Kull.* — Le chemin de fer Central suisse a mis à l'essai l'année dernière, et va appliquer sur vingt-cinq voitures un système étudié par M. Kull, ingénieur de cette Compagnie à Olten, et construit par la maison Brown-Boveri, de Bade.

» Je crois qu'au début l'inversion était effectuée par un croisement de courroies; elle est produite maintenant, me dit la maison Brown-Boveri, par le déplacement des balais ou par le renversement du courant d'excitation. La régulation est faite sur l'excitation par un rhéostat commandé par un appareil centrifuge. On n'emploie actuellement qu'une seule batterie et l'on fait usage d'un limiteur de tension qui, paraît-il, met la dynamo hors circuit pour éviter la surcharge des accumulateurs. Je n'ai pas de renseignements plus précis sur ce nouveau système.

*Discussion sur le fonctionnement des systèmes autogénérateurs
pour voitures isolées.*

» Le fonctionnement diffère notablement suivant que le système travaille avec une ou deux batteries d'accumulateurs.

» Examinons d'abord ce qui se passe dans un système à simple batterie. Les arrêts sont les seuls moments où la tension aux lampes

doit rester absolument constante; la résistance d'absorption étant en court-circuit, si la batterie est de 12 éléments, la tension aux lampes se tiendra à 24 volts à chaque arrêt, tant que la batterie n'est pas épuisée. La résistance d'absorption peut être réglée à différentes valeurs; supposons qu'elle soit calculée pour absorber 4 volts lorsqu'elle est traversée par un courant correspondant à l'allumage de toutes les lampes. Nous voyons d'abord qu'il faut que le débit total de la voiture reste constant, c'est-à-dire que, si l'on veut éteindre ou mettre un certain nombre de lampes en veilleuse, il faut leur substituer une résistance équivalente. L'autorégulation de la dynamo permet à la force électromotrice de varier peu pour de grandes variations de la vitesse, mais néanmoins cette force électromotrice augmente un peu avec la vitesse. Lorsque la conjonction se produit, il y a 2,2 volts environ par élément aux accumulateurs, soit 26,4 volts; la tension aux lampes est donc de $26,4 - 4 = 22,4$ volts, c'est-à-dire que pendant les premières minutes il y a une baisse de lumière. Au fur et à mesure que la vitesse augmente, le courant de charge augmente assez fortement; la tension des accumulateurs, si ceux-ci ne sont pas entièrement chargés, monte seulement jusqu'à 2,4 volts par élément, c'est-à-dire que la tension aux lampes ne s'élève qu'à $28,8 - 4 = 24,8$ volts, et par fractions inappréciables à l'œil. A l'arrêt, la tension retombant à 24 volts, il n'y a pas de variation sensible aux lampes. Mais il y a un autre facteur à considérer : c'est la saturation des accumulateurs; au fur et à mesure qu'elle augmente, la tension des éléments s'élève pour une même force électromotrice de la dynamo, et peut atteindre à pleine vitesse 2,7 volts par élément; les lampes ont alors une tension de $32,4 - 4 = 28,4$ volts. Elles sont donc très poussées, et, s'il y a un arrêt brusque, il se produit aux lampes une chute de 28,4 volts à 25 volts et, après quelques secondes, 24 volts, soit 4,4 volts de différence; la lumière baisse alors de plus de moitié pendant l'arrêt; la transition est très désagréable, sans compter que les lampes survoltées se brûlent assez vite. J'ai pu constater personnellement sur des voitures Vicarino des survoltages encore plus considérables, notés et fixés par un voltmètre enregistreur : la tension de 24 volts aux arrêts et de 23 volts à la conjonction est montée quelquefois à 30 et même 32 volts.

» On pourrait, si l'on était sûr de marcher toujours avec des batteries surchargées, éviter l'augmentation de lumière en marche en augmentant la résistance d'absorption R de façon qu'elle absorbe par exemple 8 volts au lieu de 4 ($32,4 \text{ volts} - 8 = 24,4 \text{ volts}$). Mais alors la lumière serait trop faible en marche dans les trains où les accumulateurs sont faiblement rechargés, car alors la tension tomberait à $28,8 - 8 = 20,8 \text{ volts}$.

» Le phénomène du survoltage est produit par la saturation des éléments; il ne peut être évité qu'en réglant le débit de la dynamo de façon que, pour le trajet journalier considéré, la quantité de courant fournie par la dynamo pendant les périodes où elle est enclenchée soit égale mais pas supérieure à la quantité consommée pendant la durée totale du voyage. Si le voyage d'aller et retour se fait entièrement de nuit, son débit moyen doit être plus fort que le débit des lampes d'une fraction telle qu'elle restitue aux accumulateurs pendant la marche ce qui est dépensé par les lampes pendant les arrêts. S'il y a un parcours de jour dans le voyage, tout le courant étant employé pendant cette période à la charge des accumulateurs, le débit moyen de la dynamo doit être réduit. Il faut tenir compte aussi de ce que le débit réel de la dynamo n'est pas le débit moyen, puisqu'il varie avec la vitesse. Si la dynamo est réglée trop bas, c'est-à-dire si la charge reçue par la batterie pendant un voyage est inférieure à sa dépense pendant les arrêts, même d'une faible quantité, le déficit s'accumule et la batterie se trouve épuisée au bout d'un certain temps, d'autant plus long que la capacité de la batterie est plus forte et que le réglage est plus voisin du point exact. Si la dynamo est réglée trop haut, l'inverse se produit : le survoltage des lampes apparaît au bout de quelques jours. Le réglage de la dynamo pour un parcours déterminé est très compliqué et ne peut être guère déterminé par le calcul; il doit être fait avec diverses valeurs de l'excitation, en faisant chaque fois des relevés minutieux que l'on planimètre ensuite, sinon il faut attendre une période d'une dizaine de jours pour que le survoltage ou l'épuisement se manifeste quand on n'est pas trop loin du réglage exact. On voit combien le réglage de la dynamo est délicat pour un parcours déterminé, puisque la stabilité de fonctionnement n'est obtenue qu'au prix d'un réglage minu-

tieux de la dynamo, qu'on ne se donne pas toujours la peine de faire avec beaucoup d'exactitude; même pour un parcours déterminé, si les conditions d'éclairage viennent à changer, par exemple si les heures d'allumage et d'extinction varient avec la saison, l'équilibre se trouve détruit et l'on observe assez vite un survoltage de lampes si la durée d'éclairage diminue sensiblement, ou un épuisement des accumulateurs si cette durée augmente. On peut donc dire qu'on fonctionne toujours dans un état d'équilibre instable entre le survoltage et l'épuisement. Si le roulement des voitures éclairées, au lieu de rester invariable, varie fréquemment, fait qui se produit dans beaucoup de Compagnies, et toujours inopinément, il n'est plus possible de compter sur un fonctionnement régulier de l'éclairage, car on ne peut songer à changer comme il faudrait, lorsqu'il y a un grand nombre de voitures en service, le réglage de la dynamo intéressée, chaque fois qu'une voiture change de roulement. Dans ce cas, l'équilibre est constamment détruit et il faut s'attendre à constater tantôt des épuisements, tantôt des survoltages. Si l'Ouest, l'État et l'Orléans acceptent le fonctionnement de systèmes à simple batterie, c'est parce que ces systèmes fonctionnent sur des voitures d'un type spécial affectées à quelques trains seulement et changeant très rarement de roulement, et, si l'on n'observe pas souvent d'épuisement d'accumulateurs, l'éclairage y fonctionne souvent avec survoltage.

» Au point de vue théorique, il y a un moyen d'éviter complètement les survoltages : c'est de placer la résistance d'absorption avant les accumulateurs au lieu de la mettre entre les accumulateurs et les lampes, et de choisir cette résistance assez forte pour que, pendant toute la période d'éclairage, les accumulateurs ne soient jamais chargés, mais, au contraire, se déchargent plus ou moins, travaillant en parallèle avec la dynamo pour alimenter les lampes; les lampes, soumises alors à une tension constante, ne dépassent jamais 2 volts par élément. L'instabilité du fonctionnement n'est pourtant pas supprimée, elle se trouve seulement limitée d'un côté; il n'y a plus à craindre que les épuisements, mais, par contre, cet incident peut se produire plus facilement. En effet, les accumulateurs fournissant alors du courant, non seulement pendant

les arrêts, mais encore partiellement pendant toute la marche, ils débitent beaucoup et ils ne peuvent être rechargés que lorsque la dynamo tourne sans éclairer les lampes (avec, bien entendu, la résistance d'absorption enlevée). Le procédé est donc inapplicable pour les trains de nuit qui sont allumés pendant tout leur parcours, dans lesquels entrent précisément beaucoup de grandes voitures éclairées à l'électricité; il ne peut être employé que lorsque les trains ont un parcours de jour suffisant pour restituer pendant cette période aux accumulateurs le courant qu'ils ont dépensé pendant toute la période d'éclairage. Il n'y a guère, pratiquement, que les trains de banlieue, comme celui de Saint-Pölten à Vienne, où fonctionnait le système Dick, qui remplissent ces conditions, et encore M. Dick semblait-il craindre les épuisements, puisque, peu de temps après, il préconisait, même pour les trains de banlieue, l'emploi de deux batteries. C'est pourquoi ce dispositif, qui a été appliqué pour l'éclairage des trains entiers, ne l'a jamais été pour les voitures éclairées par dynamos isolées qui ne circulent jamais dans des trains de banlieue.

» Dans les systèmes à deux batteries on peut, en réglant la résistance d'absorption R (voir *fig. 12*) à une valeur assez élevée, s'arranger de manière que la batterie d'éclairage B ne reçoive jamais de charge et se décharge plus ou moins pendant toute la marche du voyage aller. La tension aux lampes reste alors constante et égale à 2 volts par élément; il n'y a donc pas à craindre de survoltage, et l'on a le grand avantage de ne pas avoir à changer le réglage de la dynamo lorsque les parcours changent. Les épuisements sont moins à craindre qu'avec une seule batterie, puisque, même si la voiture circule entièrement de nuit, la batterie qui a fourni du courant pendant la marche d'aller, non seulement n'en fournit plus au retour, après interversion des batteries, mais se trouve rechargée pendant toute cette période. Toutefois, si l'on peut être certain de ne jamais avoir de survoltage et de ne pas avoir à toucher au réglage de la dynamo, quel que soit le roulement de la voiture, il faut que le courant qui passe dans la batterie d'éclairage B ne dépasse pas la consommation des lampes, même lorsque la dynamo marche à sa vitesse maximum; il peut alors arriver que, lorsque la voiture circule dans des

trains moins rapides, sans parcours de jour, le débit de la dynamo ne soit plus suffisant pour compenser la dépense du courant des accumulateurs et que l'on observe des épuisements. Le cas s'est présenté, je crois, avec le système Stone, en Belgique, où l'on fait toujours travailler la batterie en décharge. M. Vicarino a l'intention de faire fonctionner, dans les mêmes conditions, son nouveau système à double batterie.

» En France, et je crois aussi en Angleterre, tous les équipements Stone ont la résistance d'absorption réglée de manière que la batterie d'éclairage B reçoive un léger courant de charge (en même temps que la batterie A est en pleine charge), sinon pendant toute la marche, du moins à partir d'une certaine vitesse. On ne risque guère alors d'avoir des épuisements de batteries, mais on retrouve le même inconvénient que dans le système à une batterie, c'est-à-dire que le réglage de la dynamo doit être très précis : il ne peut plus être indépendant du roulement ; donc, avec un réglage unique, même bien établi pour un roulement à vitesse modérée, on observera des survoltages sur les voitures passant dans un train plus rapide ou comportant des parcours de jour plus grands. Il en résulte l'impression d'une baisse de lumière importante au moment des arrêts ; je sais que le fait se produit sur les voitures munies en France de l'éclairage Stone. Mais les fabricants et même les Compagnies de chemins de fer préfèrent de beaucoup les survoltages, qui ne se traduisent que par une variation de lumière, aux épuisements, qui causent des détériorations sérieuses aux accumulateurs.

» Aux causes générales de survoltage qui viennent d'être signalées, il faut en ajouter une autre, due à l'inégalité de traitement des batteries. En effet, la permutation des batteries s'effectue généralement au terme du voyage d'aller, mais le voyage d'aller et celui de retour ne comprennent pas souvent la même période d'allumage ; avec le dispositif de la charge légère en marche de la batterie d'éclairage, la batterie qui correspond à la durée d'allumage la plus faible (et ce sera toujours la même) donnera lieu à une tension plus forte aux lampes, c'est-à-dire qu'il y aura tous les jours survoltage plus grand à l'aller qu'au retour, par exemple. Avec le dispositif où la batterie d'éclairage n'est jamais en charge, l'inégalité des durées

d'éclairage n'a pas d'inconvénient; elle peut, au contraire, avoir pour résultat de ne provoquer l'épuisement que sur une seule des deux batteries.

» Les procédés d'interversion des batteries employés jusqu'à présent peuvent, en outre, dans certaines circonstances défavorables, causer des survoltages et des épuisements, momentanés tout au moins. Avec les appareils Stone, où la permutation dépend du sens de la marche, le fait peut se produire lorsqu'une voiture, changeant de roulement, repart dans le même sens qu'elle avait en rentrant de son dernier voyage. Si le train, par suite de manœuvres variées, ne change pas le sens de sa marche à l'un ou aux de ux terminus, la permutation automatique Stone ne s'effectue pas: on doit la faire à la main par un commutateur spécial, et l'on est alors à la merci d'un oubli des agents. Avec les appareils Vicarino, dans lesquels la permutation est faite à chaque allumage général, le fait se produira si, dans l'un des terminus, on tourne accidentellement le commutateur général pour une cause quelconque, essai, manœuvre intempestive d'agents, etc., parce qu'ensuite les batteries se trouvent rétablies dans l'ordre primitif sans que la phase inverse ait eu une durée appréciable; le même phénomène peut se produire, non plus accidentellement, mais régulièrement dans certains parcours où l'un des voyages, aller et retour, se fait entièrement de jour et où l'on doit pourtant allumer les voitures pendant quelques instants pour la traversée d'un tunnel; il faut alors avoir recours à une manœuvre supplémentaire de l'interrupteur principal que les agents peuvent oublier. Dans le système Dick, pour voitures isolées, on ne cite pas de manœuvre spéciale pour intervertir les batteries, comme cela était indiqué pour le système d'éclairage à deux batteries, des trains en bloc proposés en 1900 (la permutation était réalisée par la manœuvre d'un commutateur spécial); il est donc probable que la permutation s'effectue, comme dans le Vicarino, par la manœuvre du commutateur général d'allumage de la voiture.

» J'ai appris tout récemment que la maison Stone avait, sinon appliqué déjà, du moins imaginé un nouveau procédé de permutation; celle-ci se produit automatiquement, non plus à chaque changement de sens de rotation, mais à chaque arrêt de la dynamo. Ce procédé est certainement supérieur aux précédents: les arrêts

ayant lieu généralement après des périodes de marche à peu près égales et ne dépassant pas 3 heures, les deux batteries sont inversées beaucoup plus fréquemment et travaillent beaucoup plus également. Toutefois, sur certaines lignes, on rencontre près des points de bifurcation des périodes de marche très courtes, succédant à de très longues, qui donneront lieu à des inégalités de travail des batteries. Enfin ces inégalités peuvent devenir très grandes et donner lieu à des épuisements dans le cas de permutations insolites dues à des manœuvres de garage effectuées à des vitesses supérieures à celle de la conjonction de la dynamo, ce qui est le cas dans les terminus où les trains sont enlevés tout formés des gares par une locomotive et emmenés à allure assez vive (plus de 20^{km} à l'heure) dans un garage situé à 5^{km} ou 6^{km} .

» En raison des inégalités très grandes des durées de charge de la batterie reliée directement à la dynamo, quel que soit le mode de permutation employé, les accumulateurs sont très souvent soumis à une surcharge pendant une partie de la marche, ce qui accélère la désagrégation de la matière active positive des accumulateurs, surtout si ceux-ci sont à oxyde rapporté. Pour remédier à cet effet fâcheux, certains constructeurs, tels que Dick et, à présent, Vicarino, font usage d'un limiteur de tension qui, pour réduire le courant passant dans la batterie en charge directe A (*fig. 12*) de 2,6 à 2,2 par élément, abaisse la force électromotrice de la dynamo; mais il en résulte que le courant qui passe dans le circuit de la batterie d'éclairage B se trouve réduit en même temps de peut-être les deux tiers de sa valeur et que, par conséquent, la batterie B doit fournir aux lampes le supplément de courant qui n'arrive plus de la dynamo. C'est là un phénomène réflexe qui n'est pas rationnel; ce n'est pas parce que la batterie en charge directe A est saturée que la batterie en décharge B doit débiter davantage. L'enclenchement même du limiteur de tension ne se produit pas non plus d'une manière rationnelle : le courant ne devrait être réduit que lorsque la tension aux accumulateurs atteint 2,6 volts pour cause de saturation; cela serait si la force électromotrice de la dynamo restait constante; mais, en réalité, la variation de la force électromotrice vient troubler le fonctionnement : l'expérience a montré que le basculement de l'appareil se produit souvent uniquement parce que, dans

un moment de marche à grande vitesse, une descente, par exemple, la force électromotrice de la dynamo a monté d'une quantité telle que la tension aux accumulateurs a atteint 2,6 volts, alors que les accumulateurs peuvent être encore presque vides. L'influence parasite exercée sur la batterie d'éclairage B a pour résultat de faciliter l'épuisement des accumulateurs, surtout avec la marche de la batterie d'éclairage B en décharge qui y est déjà sujette par elle-même. Or ce sont précisément ceux qui fonctionnent dans ces conditions qui emploient le limiteur de tension, tandis que Stone, auquel il serait moins nuisible, ne l'emploie pas, probablement parce qu'il a jugé qu'il valait mieux fatiguer les accumulateurs que de compliquer l'installation et le fonctionnement du système.

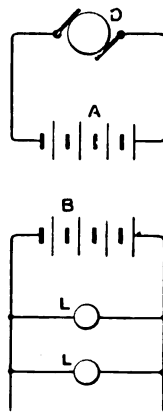
» *Dispositifs de l'auteur avec double batterie à permutation périodique.* — Ayant été à même de suivre de près et d'analyser le fonctionnement des divers systèmes d'éclairage électrique par appareils autogénérateurs, j'ai cherché à supprimer les inconvénients auxquels ils peuvent être sujets en raison de leur principe même, et qui résultent, nous venons de le voir, de l'inégalité de traitement à laquelle sont soumises les deux batteries d'accumulateurs. Je montrerai dans un instant que ce résultat est obtenu si la permutation des batteries est effectuée à de courts intervalles, après qu'elles ont été chargées, pendant 1 heure par exemple; cette permutation doit, bien entendu, se produire automatiquement et pendant la marche même du train. Pour obtenir ce résultat, ma première idée fut d'employer un compteur horaire électrique commandé soit par la dynamo, soit par le circuit d'éclairage et qui, lorsque la dynamo aurait débité pendant 1 heure ou bien lorsque les lampes auraient brûlé pendant 1 heure (ces deux moyens sont à peu près équivalents) aurait produit le déclenchement d'un commutateur approprié; mais ce dispositif, qui exigeait l'emploi d'un servo-moteur électrique, tel qu'électro-aimant ou solénoïde, pour commander le commutateur, conduisait à un ensemble d'appareils un peu compliqués. En réfléchissant, je trouvai qu'il était beaucoup plus facile d'employer, au lieu d'un compteur horaire électrique, un compteur de tours mécanique : les appareils deviennent alors très simples et se réduisent à un commutateur armé par la marche même du train

et qui est déclenché par une came lorsque la dynamo a fait un certain nombre de tours correspondant à une durée moyenne de marche de 1 heure, par exemple.

» Je crois l'idée nouvelle, puisqu'elle a été acceptée comme telle par le Bureau d'examen des patentes d'Allemagne, et, sauf dans ce pays et en Belgique où j'ai pris un brevet à titre de document d'antériorité, je laisse à tous les industriels ou Compagnies de chemins de fer la faculté d'utiliser cette idée s'ils le jugent utile et d'en réaliser l'application à l'aide des appareils qui leur paraîtront le plus convenables.

» Le principe que je viens d'indiquer peut être utilisé de deux manières différentes. Le dispositif le plus élégant consiste à séparer complètement les deux batteries (*fig. 13*) et à relier pendant la marche la batterie A à la dynamo, tandis que la batterie B, absolument isolée,

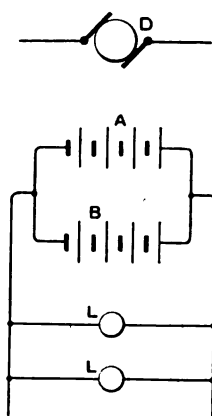
Fig. 13.



alimente les lampes. Afin de ne pas interrompre la lumière au moment de la permutation, le commutateur, après avoir séparé la batterie A de la dynamo, la couple pendant un instant en parallèle avec la batterie B sur les lampes (*fig. 14*), puis détache la batterie B des lampes pour la relier à la dynamo. Pendant les arrêts, on peut assurer l'alimentation des lampes soit par la batterie d'éclairage B seule, soit par les deux batteries couplées en parallèle; ce dernier mode de connexion n'a d'intérêt que si les voitures éclairées sont susceptibles d'avoir dans certains trains (le cas arrive sur certains réseaux) des arrêts durant de 1 heure à 1 heure 30 minutes, de

manière à ne faire débiter à la batterie d'éclairage B que la moitié de la consommation correspondant à ces arrêts; encore la précaution n'est-elle pas bien utile, parce que les accumulateurs, étant rechargés fréquemment, peuvent supporter sans aucune crainte d'épuisement la dépense totale de courant pendant les arrêts, même prolongés. Théoriquement, les batteries peuvent être très petites : il suffit qu'elles puissent fournir le courant consommé par les lampes pendant une période correspondant à l'intervalle de marche des interversions, soit 1 heure par exemple, plus celui consommé pendant la plus grande période d'arrêt que l'on puisse rencontrer dans cet intervalle de 1 heure, soit 1 heure en général et 2 heures au

Fig. 14.



grand maximum pour certains réseaux, ce qui donne une capacité de 2 ou 3 heures. Mais avec ce chiffre, comme la dynamo ne vient jamais en aide aux accumulateurs, qui doivent fournir seuls tout le courant des lampes, on est conduit à des régimes de décharge (en 3 ou 2 heures) et de charge (en 1 heure 30 minutes ou 1 heure) très durs. En pratique, il est préférable de donner aux accumulateurs une capacité plus forte : 5 heures par exemple pour chaque batterie (c'est-à-dire à peu près ce qui est adopté dans les systèmes autogénérateurs ordinaires à double batterie), ce qui permet de fonctionner à des régimes normaux : décharge en 5 heures, charge en 4 heures.

» Ce dispositif procure une lumière absolument constante et met complètement à l'abri des incidents auxquels sont exposés les

systèmes ordinaires; les survoltages aux lampes sont matériellement impossibles, et les épuisements ne sont plus à craindre si l'on a calculé le débit de la dynamo pour la marche la plus lente et les arrêts les plus longs que l'on puisse rencontrer, parce qu'il n'y a plus d'inégalité et, par suite, plus d'imprévu dans la consommation des batteries interverties à intervalles réguliers. Le grand avantage de ce dispositif est de ne demander aucune résistance d'absorption dans le circuit des lampes; on est, par conséquent, certain d'avoir une lumière parfaite sans avoir à faire aucun réglage et de n'avoir à craindre aucun incident, *quel que soit le roulement de la voiture*, qu'elle passe d'un train rapide à un train omnibus, ou d'un train entièrement de nuit à un train ayant peu d'éclairage.

» Avec ce dispositif, la dépense de la batterie d'éclairage, puisqu'elle ne dépend aucunement de la dynamo, ne varie que d'après les inégalités des stationnements. On peut admettre, et calculer presque exactement, un courant de charge absolument constant, quel que soit le roulement des voitures. Il suffit donc de régler une fois pour toutes le débit de la dynamo de façon à être sûr que les accumulateurs sont chargés; mais, en raison de la régularité périodique des décharges et des charges, on pourra se dispenser de la charge de jour et les accumulateurs ne recevront qu'un petit excédent de courant et ne seront pas exposés, comme dans tous les autres systèmes autogénérateurs, à recevoir quelquefois du courant pendant un temps assez long après qu'ils sont saturés. J'estime qu'avec ce dispositif il n'y a pas utilité à faire usage d'un limiteur de tension. Toutefois, rien n'empêche d'en faire usage; il fonctionnera alors dans des conditions plus rationnelles que dans les systèmes Vicarino et Dick pour voitures isolées, puisqu'il ne gênera pas le circuit d'éclairage. (Il agissait de même dans le système Dick pour trains-blocs, où il n'entrait pas en action pendant les périodes d'éclairage.)

» Le principe indiqué plus haut par l'auteur peut être appliqué également suivant un second dispositif consistant à établir exactement les mêmes connexions que dans les systèmes autogénérateurs Stone, Vicarino ou Dick (voir *fig. 12*), mais en effectuant *en marche* et à intervalles réguliers et rapprochés, toutes les heures par

exemple, la permutation des batteries, au lieu de ne la faire qu'après de longues périodes de marche. La commutation s'opérant en marche doit comprendre des phases analogues à celles du premier dispositif, mais un peu plus compliquées. Dans les deux dispositifs, les commutateurs sont semblables et peuvent avoir la forme, soit d'un cylindre à contact analogue aux combinateurs de tramways, mais beaucoup plus simple, soit d'un double levier.

» Le second dispositif exige l'emploi d'une résistance d'absorption R réglée convenablement; mais, si l'on ajuste cette résistance de manière que la dynamo d'éclairage B travaille toujours en décharge pendant la marche, on peut obtenir pratiquement une tension aux lampes aussi constante que celle donnée théoriquement par le premier dispositif. La permutation fréquente et régulière des batteries permettra de réaliser cette condition sans avoir à craindre, comme dans les systèmes ordinaires, les épuisements, parce que la batterie d'éclairage sera toujours remise en charge après un temps très court, quel que soit le parcours du train. On pourra même se dispenser de faire de la charge de jour.

» Dans le second dispositif, les inégalités de consommation des batteries seront, en théorie, un peu plus grandes que dans le premier dispositif, puisqu'à celles dues aux inégalités des périodes d'arrêt viendront s'ajouter celles résultant des variations de force électromotrice de la dynamo suivant la vitesse. (En effet, suivant que la dynamo fournira plus ou moins de courant aux lampes, l'excédent fourni par la batterie d'éclairage B sera plus ou moins fort.) Mais, en pratique, ce dernier phénomène est peu appréciable, et l'on peut dire que la consommation des accumulateurs est en moyenne constante, comparée à celle des systèmes ordinaires, parce que l'on supprime la cause considérable d'inégalité de ces derniers résultant de ce que la durée d'éclairage demandée à la batterie peut varier énormément, de 3 à 15 heures, par exemple. En outre, la permutation ayant lieu à intervalles réguliers et ne dépendant ni d'une manœuvre d'allumage ni du sens de la marche, on est à l'abri des incidents, survoltages ou épuisements, qui peuvent se produire dans les autres systèmes autogénérateurs par manœuvres intempestives de permutation dont il a été parlé plus haut.

» La consommation de la batterie d'éclairage étant pratiquement à peu près constante, on peut encore faire usage d'un courant de charge uniforme, quel que soit le roulement des trains (en ne chargeant pas le jour), sans provoquer des surcharges importantes des accumulateurs et, par conséquent, se dispenser de faire usage d'un limiteur de tension. Toutefois, rien n'empêche, si l'on veut soulager les accumulateurs, d'employer un appareil de ce genre; il fonctionnera dans les mêmes conditions que dans les systèmes Vicarino ou Dick pour voitures isolées, et son emploi aura moins d'inconvénients que dans ces derniers systèmes, où il pouvait favoriser des épuisements qui, ici, ne sont plus à craindre.

» L'avantage du second dispositif sur le premier, c'est que les accumulateurs de la batterie d'éclairage B ne fournissent plus, pendant la marche, la totalité du courant consommé par les lampes, mais seulement une fraction de celle-ci, puisque la dynamo en fournit aussi une partie; pendant les arrêts, on a intérêt, cette fois, à faire travailler les deux batteries A et B en parallèle, de façon que chacune d'elles ne débite que la moitié du courant total. Les accumulateurs se trouveront donc soumis à un régime de décharge beaucoup moins dur et l'on pourra prendre, sans risquer de fatiguer trop les accumulateurs, des batteries peu supérieures à la capacité théorique nécessaire. Or cette capacité est plus faible que dans le premier dispositif, puisque la dynamo fournit une partie de l'éclairage pendant la marche; elle peut donc être évaluée de 1 heure 30 minutes à 2 heures au maximum, suivant les réseaux (en supposant la permutation effectuée toutes les heures). Par conséquent, j'estime qu'on peut se contenter de batteries représentant 2 heures 30 minutes à 3 heures d'éclairage, c'est-à-dire à peu près la moitié de ce qui est nécessaire avec les autres systèmes, puisque le régime de décharge correspondant (en 6 à 7 heures) est très acceptable, de même que le régime de charge en 3 heures environ.

» En résumé, le principe indiqué par l'auteur a l'avantage, par rapport aux systèmes autogénérateurs connus, dans le cas du premier dispositif d'éviter, avec le même poids d'accumulateurs, toute chance d'épuisement, tout en donnant une lumière théoriquement constante: dans le cas du second dispositif, de permettre d'obtenir une lumière pratiquement constante avec une dépense d'accumulateurs notable-

ment moindre et en évitant également les chances d'incidents, toujours possibles dans les autres systèmes, ne serait-ce que par des manœuvres accidentelles intempestives.

» *Observations générales sur les systèmes autogénérateurs par voitures isolées.* — Le public reproche à ces systèmes de donner lieu, pendant les arrêts, à des baisses de lumière importantes, par rapport à la lumière très vive de la marche, et désagréables surtout parce qu'elles sont subites. Nous avons vu qu'en faisant fonctionner les systèmes existants à double batterie dans des conditions convenables, on peut supprimer cette objection. Mais la double batterie est indispensable pour obtenir ce résultat, et je suis persuadé que les constructeurs nouveaux qui ont créé récemment des systèmes à simple batterie unique adopteront plus tard la double batterie, comme l'ont fait leurs prédécesseurs Stone et Vicarino qui, eux aussi, avaient d'abord débuté par les systèmes à batterie unique, à cause de leur simplicité apparente, et qui les ont abandonnés après avoir approfondi davantage la question.

» Si les constructeurs et les chemins de fer n'ont guère réalisé, jusqu'à présent, la bonne régularité de la lumière avec les systèmes existants, c'est parce qu'en le faisant ils craignaient de créer des incidents d'accumulateurs. J'ai montré plus haut qu'avec de nouveaux dispositifs il était possible de négliger cette crainte et de rendre, par suite, la surveillance des appareils moins minutieuse. Ce point a de l'importance, car, si les Compagnies de chemins de fer n'ont pas encore étendu l'emploi de ces systèmes, c'est parce qu'elles leur reprochent d'exiger beaucoup trop de surveillance. Il est certain que les accumulateurs demanderont toujours des soins particuliers, mais on arrivera à faire l'entretien des appareils mécaniques, tels que dynamos et disjoncteurs, si ceux-ci sont construits d'une façon robuste et rationnelle, sans plus de difficulté que celui des autres pièces mobiles du matériel : coussinets, boîtes à huile, ressorts, etc., à condition d'avoir un nombre important de voitures en service.

» Les systèmes autogénérateurs pour voitures isolées sont plus coûteux comme surveillance et entretien que les systèmes pour trains-blocs (Classe III), puisque la dynamo, les organes de régulation et

surtout les accumulateurs se répètent sur chaque voiture, et reviennent beaucoup plus cher qu'un ou deux gros équipements de fourgons. En revanche, ils présentent une souplesse d'emploi que n'ont pas les seconds et qui est fort appréciée des Compagnies de chemins de fer : les voitures sont complètement indépendantes et l'on n'a pas à se préoccuper de les cantonner dans des trains déterminés; elles peuvent aller dans n'importe quel train et se mélanger avec n'importe quel matériel. Ces systèmes conviennent donc très bien pour les trains de grandes lignes, express ou rapides, sujets à coupures ou intercalations de voitures étrangères. Par rapport aux systèmes d'éclairage par accumulateurs seuls (groupe A), ils présentent l'avantage important de n'exiger aucune immobilisation de matériel ou manutention de boîtes pour la charge des accumulateurs.

» Comme prix d'installation, ces systèmes sont certainement les plus coûteux de tous les procédés électriques, parce que la nécessité de munir chaque voiture d'une installation complète compense largement l'absence de stations fixes de charge. Il est à noter, d'ailleurs, que le prix de premier établissement augmente notablement moins vite que la puissance demandée et est relativement bien moins élevé sur les grandes voitures que sur les petites. Mais la question la plus importante à considérer, finalement, est celle du prix de revient de l'éclairage; à ce point de vue, le classement des divers systèmes est bien différent. L'éclairage électrique des trains par systèmes autogénérateurs revient évidemment beaucoup plus cher si chaque voiture est indépendante que si le train est éclairé par un ou deux équipements seulement (Classe III, catégorie c), mais il est notablement plus économique que le système par accumulateurs seuls placés sur chaque véhicule (Classe I) ou même seulement dans les fourgons du train (Classe II). Sauf dans ce dernier cas, l'entretien et la réparation des accumulateurs sont moins onéreux, puisque, si les éléments sont un peu plus fatigués, les batteries ont une capacité au moins moitié moindre (10 heures d'éclairage au lieu de 20 heures à 30 heures). Mais, ce qui donne une économie considérable, c'est l'absence des frais de charge, courant et personnel, car la force prise sur les essieux est inappréciable pour le mécanicien ($\frac{1}{2}$ cheval à 1 cheval par véhicule suivant la grandeur de la voiture). Il est vrai qu'il faut faire entrer dans le prix de revient l'amortis-

sement et l'entretien des appareils mécaniques, ainsi que les dépenses de réglage et de surveillance des équipements; ces dernières dépenses, qui sont onéreuses quand le nombre des voitures en service est faible, se trouvent réduites fortement quand l'effectif est suffisamment important, parce que la surveillance peut être organisée méthodiquement; au total, les économies réalisées dépassent de beaucoup les dépenses supplémentaires si le système est appliqué en grand.

» Les applications réalisées à l'heure actuelle avec les divers systèmes d'éclairage électrique des trains sont résumées dans le Tableau ci-après (p. 523).

CONCLUSIONS.

» Parmi les divers produits autres que l'électricité employés pour éclairer les trains, je ne citerai que pour mémoire la bougie, l'huile végétale ou minérale; les seuls concurrents sérieux de l'électricité sont : le gaz d'huile et l'acétylène pur ou mélangé avec le gaz d'huile (renfermés sous une pression de 7^{kg} dans des réservoirs placés sous les voitures). Il y a bien encore le gaz de houille ordinaire avec manchons incandescents, sur lequel des essais viennent d'être entrepris sur l'Est français et qui aurait l'avantage de dispenser de créer des usines de fabrication du gaz, puisqu'il suffirait d'avoir dans un certain nombre de gares une petite installation de compresseurs pour donner au gaz de ville une pression permettant son emmagasinement dans les réservoirs des voitures; mais on ne sait pas encore comment se comporteront, en service courant, les manchons à incandescence. Le gaz d'huile exige l'installation d'usines de fabrication assez importantes, correspondant aux usines de charge électriques; le poids et le prix de l'équipement à gaz des voitures sont à peu près les mêmes que ceux de l'équipement électrique par accumulateurs (moins cher que l'équipement avec dynamo), mais il a l'avantage de permettre un chargement des voitures presque instantané et de ne comporter, sur les véhicules, pour ainsi dire aucun organe sujet à entretien et à surveillance. Toutefois, bien qu'il soit beaucoup plus éclairant que le gaz ordinaire de houille, il ne permet pas de réaliser, même avec des becs à récupération utilisant le réchauffement du gaz par les produits de la combustion, des lampes unitaires donnant plus de 9 à 10 bougies, ce qui oblige à faire une installation encom-

brante de plusieurs lanternes ou d'une lanterne à deux ou trois brûleurs lorsqu'on veut fournir un grand éclairage dans les compartiments.

» Les chemins de fer prussiens ont tourné la difficulté en ajoutant au gaz d'huile un quart d'acétylène, ce qui permet d'obtenir un éclairage double de celui d'un gaz d'huile de très bonne qualité, avec un même débit. Ces chemins de fer possèdent actuellement plusieurs milliers de voitures éclairées de cette manière. La Compagnie française du P.-L.-M. réalise en ce moment l'application de ce système sur plusieurs milliers de voitures éclairées précédemment au gaz d'huile seul. L'acétylène pur donnerait encore un éclairage plus intense, mais les Compagnies de chemins de fer ont été effrayées par les dangers de compression de ce gaz à 10^{kg}. Ces craintes sont, à mon avis, très exagérées, et les dangers de l'acétylène comprimé ne dépasseraient guère ceux du gaz d'huile, si l'on employait la méthode Fouché de la Compagnie de l'Acétylène dissous, consistant à diviser la masse gazeuse par une matière poreuse, telle que pâte de charbon et chaux, placée dans les réservoirs des voitures et de l'usine. L'acétylène dissous dans l'acétone est très séduisant à cause de son pouvoir d'emménagement considérable; mais son prix de revient est trop élevé.

» Je ne m'étendrai pas sur les avantages bien connus de l'éclairage électrique : les lampes électriques s'allument instantanément sur toute une voiture; elles sont propres et, ce qui est important pour les voitures luxueuses, elles ne chauffent pas et permettent, avec une installation intérieure très simple, de donner un éclairage aussi intense qu'on le désire.

» Je me garderai bien de donner aucun chiffre concernant les prix de revient de l'éclairage au gaz et des divers procédés d'éclairage électrique, parce que ces prix peuvent varier dans des limites très étendues suivant les cas et suivant la manière dont on les calcule. Sous la poussée de l'opinion, toutes les Compagnies de chemins de fer considèrent actuellement comme nécessaire d'augmenter l'éclairage fourni aux voyageurs, qui n'acceptent plus sans murmurer l'antique lampe à huile, aussi bien sur les lignes de banlieue que sur les grandes lignes; mais les Compagnies cherchent avant tout à ne pas rendre trop considérables les augmentations de dépenses qui

résulteront forcément de l'amélioration de l'éclairage. C'est la question dépense qui prime toutes les autres : si les Compagnies n'ont pas développé davantage l'éclairage électrique, c'est qu'elles le trouvaient trop coûteux. Les Administrations des Postes allemandes et françaises font seules exception, parce qu'elles font passer la question d'hygiène, très importante dans le cas particulier, avant celle de dépense. Aussi est-il à prévoir que l'éclairage par accumulateurs isolés, qui a été le seul considéré jusqu'à présent, ne s'étendra pas, même sur les voitures de types récents, parce qu'il coûtera toujours plus cher que celui au gaz. Quelques exemples que j'ai donnés montrent que dès maintenant il y a une tendance à remplacer ce système par d'autres, électriques, plus avantageux. Mais j'estime que, pour les grandes voitures modernes, l'éclairage électrique par systèmes autogénérateurs indépendants, s'il est appliqué sur un effectif suffisant pour permettre une exploitation rationnelle, peut devenir moins coûteux que l'éclairage au gaz et par conséquent être préféré à ce dernier. Le développement extrêmement rapide qu'a pris ce système en Angleterre dans l'espace de 3 ou 4 ans vient à l'appui de mon opinion, car je ne puis pas croire que dans ce pays de sens pratique on équiperait si vite des milliers de voitures par simple désir d'avoir un éclairage moderne, si l'on n'y trouvait pas un avantage pécuniaire.

» L'éclairage électrique peut, à mon avis, supplanter encore beaucoup plus facilement le gaz ou l'acétylène sur les nombreux trains de banlieue ou de parcours limité où l'on pourra appliquer le système par dynamo monté sur la locomotive, sans accumulateurs, que j'ai préconisé plus haut, parce que ce système permettra de donner, dans les trains locaux munis presque partout du pâle éclairage à huile, un éclairage abondant que le gaz ou l'acétylène ne fourniraient qu'à un prix beaucoup plus élevé, c'est-à-dire réaliser un perfectionnement sans faire grande dépense supplémentaire. Il faut bien noter que, avec le gaz ou l'acétylène, le prix de revient croît à peu près proportionnellement avec la consommation, de sorte que, si l'on veut avoir un grand éclairement, on arrive à une forte dépense, tandis qu'avec les systèmes à dynamos, dans lesquels l'énergie ne coûte pratiquement rien, le prix de revient unitaire de l'éclairage est d'autant plus faible que la quantité de lumière est

plus forte. Ceci explique pourquoi, lorsqu'on veut fournir aux trains entiers de banlieue ou aux voitures isolées un éclairage intense, l'électricité l'emporte sur le gaz ou l'acétylène comme économie, et l'emportera de plus en plus, parce qu'il est certain que dans les trains, comme dans tous les autres locaux, on sera amené à donner toujours de plus en plus de lumière : certaines voitures américaines consomment déjà, paraît-il, 300 bougies.

» Mais je n'hésite pas à déclarer que le gaz ou l'acétylène me paraissent plus pratiques que l'éclairage électrique pour les voitures d'anciens types et de petites dimensions qui ne sont pas affectées à des services locaux et forment les trains omnibus ou semi-directs d'assez grands parcours, parce que ces trains sont sujets à trop de changements de composition pour pouvoir être éclairés en entier et que les dépenses d'amortissement et d'entretien des équipements à dynamo placés sur chaque voiture seraient trop élevées pour des véhicules aussi petits, et que, dans ces conditions, l'éclairage électrique ne peut être produit assez économiquement pour lutter contre le gaz ou l'acétylène. »

TABLEAU SYNOPTIQUE

DES APPLICATIONS RÉALISÉES AVEC LES DIVERS SYSTÈMES D'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES TRAINS.

			Nombre de voitures munies du système d'éclairage électrique.	
A. Par accumu- lateurs seuls.	I. Par une ou deux batteries seulement.	Chemins de fer de l'État danois	700 véhicules.	
		» de la Sicile occidentale.		
		» de l'État du Cap.		
		Chemins de fer du Jura Simplon (Suisse).	668 véhicules.	
		» du Central suisse.....	139 »	
		» du Gothard (Suisse) ...	20 »	
		» Berne à Neuchâtel et Jura neuchâtelois.....	65 »	
		Administration des Postes allemandes..	1500 wagons-postes. 500 wagons de remorque.	
		a. Par batteries amovibles rechargées dans des usines fixes.	» des Postes bavaroises.. 40 wagons-postes. » des Postes autrichiennes. 50 » » des Postes françaises... 20 grands wagons-postes. 6 petits wagons-postes.	
		Chemins de fer de l'Est français	154 voitures.	
	» de l'État hongrois.....	125 »		
	» autrichiens du Nord (Kai- ser Ferdinand).....	65 véhicules.		
	» de l'État autrichien	20 voitures.		
	» italiens de la Méditerranée.	113 »		
	» de l'Adriatique (Italie)...	80 »		
» de l'État badois	35 »			
» de Dortmund, de Meck- lenbourg (Allemagne).	Quelques voitures.			
B. Par dynamos et accumu- lateurs.	II. Par batteries indépen- dantes sur chaque voiture.	Chemins de fer du Nord français	165 voitures à bogies. environ 100 voitures ordi- naires.	
		Administration des Postes françaises, ligne du Nord	9 grands wagons-postes.	
		Chemins de fer de Sceaux.....	112 voitures.	
		» de Ceinture	243 véhicules.	
		» d'Orléans	30 voitures	
		» du Midi français	20 »	
		» de l'État roumain.....	88 »	
		c. Par dynamos recevant le mouvement de l'essieu.	London Brighton Railway (Angleterre), système de la Compagnie	271 voitures formant 26 trains.
			Great Northern Railway (Angleterre), système de la Compagnie.....	90 voitures formant 8 trains.
			Chemins de fer de l'État autrichien, système Dick.....	Un train de 11 voitures a été à l'essai de décem- bre 1897 à janvier 1900.
	Système Stone, en Allemagne		1 ou 2 trains de petits che- mins de fer.	
	Système Vicarino, en France.....		1 train de banlieue en projet.	
	d. Par dynamos mues par un moteur spécial.	Chaudière, moteur dynamo et accumulateurs dans un fourgon.....	Train impérial russe.	
		K ₁ avec accumu- lateurs.	» autrichien.	
		Moteur dynamo et accumu- lateurs dans un fourgon, vapeur prise sur la loco- motive.....	Quelques trains américains.	

TABLEAU SYNOPTIQUE

DES APPLICATIONS RÉALISÉES AVEC LES DIVERS SYSTÈMES D'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES TRAINS (*suite*).

				Nombre de voitures munies du système d'éclairage électrique.		
B. Par dynamos et accumula- teurs (suite).	III. Éclai- rage du train entier par une seule généra- trice (suite).	d. Par dynamos mues par un moteur spécial (suite).	K ₂ sans accumu- lateurs.	Chaudière-turbine Laval, dy- namo dans un fourgon...	Certains trains russes et le Transsibérien.	
				Groupe moteur à pétrole et dynamo dans un fourgon.	Certains trains des chemins de fer de l'État du Cap.	
				Groupe moteur pilon com- pound et dynamo sur la lo- comotive, qui fournit la vapeur.....	Système préconisé par l'au- teur pour les trains ne comportant pas de chan- gements de machines.	
	IV. Éclai- rage du train par voitures indépen- dantes.	2 systèmes autonomes étudiés par l'auteur en 1893 et 1894. Système Lewis essayé en Amérique en 1894.	à simple batterie.	Angleterre et pays divers..	Non expérimentés. 3000 voitures environ.	
				Système Stone essayé avec simple batterie, en Angleterre, en 1895 et 1896, appliqué avec double batterie depuis 1897.....	État belge.....	377 » équipées. 443 » en cours de montage.
				Compagnie des Wagons-Lits. Jura-Simplon (Suisse).....	130 voitures. 26 »	
				Allemagne.....	20 voitures environ instal- lées par la Société Böse.	
				Ouest français.....	14 voitures.	
				Système Moskowicz essayé en Amérique on 1891.....	Un certain nombre de voi- tures en Amérique.	
				à double batterie.	Ouest français.....	Quelques voitures mises à l'essai en Angleterre, en 1902, par la Maison Vie- kers-Maxim.
					État français.....	28 voitures. 33 »
					Midi français.....	2 »
					Madrid à Saragosse.....	3 »
					Compagnie des Wagons-Lits.	15 »
Administration des Postes bavaroises.....	5 wagons-restaurants en Espagne.					
Administration des Postes françaises.....	1 grand wagon-poste in- stallé par la Société Pollak.					
Est français.....	10 grands bureaux-postes. 10 voitures.					
Système Auvert à simple batterie essayé en France en 1899.....	P.-L.-M. français... ..	56 voitures à bogies.				
Système Dick à double batterie, 1899, construit par la Société Schue- kert de Vienne	Ouest.....	3 » »				
à simple batterie.	Autriche.....	15 voitures.				
	Système Kull à simple batterie, essayé en 1901 en Suisse, construit par Brown, Boveri et C ^{ie} ...	Central suisse.....	2 voitures.			
	Union suisse.....	25 »				
2 systèmes autonomes de l'auteur avec double batterie à permutation péri- odique (Brevet belge, juin 1901)...				Présentés pour la première fois à la séance du 8 mai 1902 de la Société internationale des Électriciens.		

NOTE SUR LES ESSAIS MAGNÉTIQUES DU FER.

(Communiquée par M. Armagnat, au nom de la sixième Commission.)

Depuis la publication du Rapport préliminaire sur les essais magnétiques du fer, la sixième Commission n'a recueilli que très peu de réponses aux questions posées et il semble que, loin d'être en mesure de donner des renseignements, la plupart des constructeurs et des métallurgistes en attendent.

Cette absence de documents certains montre bien qu'il est nécessaire de créer autour de cette question une agitation considérable afin de coordonner les résultats acquis et de montrer la voie à suivre. Aussi la Commission fait de nouveau un pressant appel à tous ceux qui possèdent sur cette question des documents certains, afin qu'ils apportent leur part à l'œuvre commune.

Bien entendu, il n'est pas question de formuler un cahier des charges uniforme, devant servir de base dans les marchés, mais, uniquement, de montrer aux constructeurs et aux métallurgistes ce qu'il est possible de faire dans les diverses circonstances.

La sixième Commission doit des remerciements aux industriels qui ont bien voulu se faire représenter à ses séances, donnant ainsi aux discussions l'intérêt pratique inséparable du caractère de notre Société : nous citerons, en particulier, les usines du Creusot, MM. Marchand et Dreyfus, les forges de Longwy, etc.

Résultats acquis. — Malgré la pénurie de documents fournis, les discussions ont fixé un certain nombre de points qu'il est nécessaire de dégager dès maintenant, afin de simplifier et de préciser les questions précédentes et pour en poser de nouvelles.

Perméabilité. — Pour la perméabilité, il est surtout intéressant de mesurer les inductions $\mathfrak{N}$ inférieures à 5000, pour les tôles de transformateurs, et les valeurs très élevées pour tous les induits dentés. Dans le deuxième cas, les calculs des machines conduisent actuellement à admettre des valeurs supérieures à 20 000 et 25 000 gauss,

ce qui semble bien difficile à obtenir dans la pratique, étant données les forces magnétomotrices en jeu.

Avec les fontes et les aciers fondus, ce sont surtout les valeurs élevées qui sont intéressantes.

Perméamètres. — Il résulte de ceci que les perméamètres doivent permettre la mesure de $\mathfrak{B}$ jusqu'à des valeurs aussi élevées que possible et qu'ils doivent s'appliquer aussi bien aux tôles qu'aux fers pleins. Il est même intéressant, pour les métallurgistes, que le même appareil puisse servir dans les deux cas, afin de permettre d'étudier les fers dans les diverses phases de leur fabrication : en lingots d'abord, puis après le laminage, s'il y a lieu.

Spécifications dans les marchés. — Une question intéressante se pose ici : De quelle façon doit-on spécifier les qualités du fer dans les marchés ?

Dans certains cahiers des charges et dans beaucoup de recherches récentes, on trouve l'indication de la valeur de $\mathfrak{B}$ obtenue dans un champ très intense : 100 gauss, par exemple. D'autres personnes ont proposé de donner la valeur du champ $\mathfrak{H}$ nécessaire pour obtenir une valeur très élevée de $\mathfrak{B}$: 18000, par exemple; il faut remarquer que cette condition est éliminatoire, certaines fontes et aciers ne pouvant atteindre cette induction que dans des champs irréalisables dans l'industrie. La tolérance à accorder va d'ailleurs nous conduire à éliminer ce dernier procédé.

Il semble que, dès que les mesures magnétiques seront entrées dans la pratique courante, on n'hésitera pas à donner la courbe complète de $\mathfrak{B}$ en fonction de $\mathfrak{H}$, ce qui est la solution la plus rationnelle, quitte à n'indiquer, dans les marchés, que les limites dans lesquelles devra se trouver la valeur de $\mathfrak{B}$ ou de $\mathfrak{H}$ nécessaire pour l'application en vue.

Tolérance à accorder. — Dans la rédaction des marchés on devra admettre une assez large tolérance, et il sera toujours utile d'indiquer la méthode ou l'appareil d'essai employé à la réception.

Pour la tolérance à accorder, on devra se rappeler que la précision des mesures est tout à fait différente, pour un même point,

selon la grandeur considérée. La courbe de $\mathfrak{B}$ en fonction de $\mathfrak{H}$ peut être divisée en deux parties : une branche ascendante, partant des plus faibles valeurs considérées dans l'industrie, 2000 gauss environ, jusqu'au point d'inflexion, et une partie faiblement inclinée, depuis l'inflexion jusqu'à l'infini.

Dans la première partie, l'accroissement de $\mathfrak{B}$, pour une très petite variation de $\mathfrak{H}$, est considérable. Une petite erreur sur $\mathfrak{H}$ peut conduire à une erreur dix ou vingt fois plus grande sur $\mathfrak{B}$; donc, jusqu'au point d'inflexion, il est préférable de fixer la valeur de $\mathfrak{B}$ et de chercher la valeur correspondante de $\mathfrak{H}$, en indiquant la tolérance admise sur cette grandeur; les différences obtenues dans ce cas sont plus caractéristiques.

Au contraire, au delà du point d'inflexion, il est préférable de mesurer la valeur de $\mathfrak{B}$ atteinte pour un champ $\mathfrak{H}$ constant; en effet, $\mathfrak{B}$ augmentant très lentement, une erreur très petite sur sa valeur amène une très grande indécision sur $\mathfrak{H}$.

Dans les deux cas, il paraît nécessaire d'accorder une tolérance d'au moins 5 pour 100, *sur le facteur le moins variable.*

Hystérésis. — Relativement à l'hystérésis, un fait très important paraît acquis. On sait que certains fers subissent, par le recuit, une modification, et que la perte d'énergie par hystérésis peut être considérablement réduite. Mais il arrive aussi très souvent que cette amélioration disparaît avec le temps, surtout lorsque les fers qui ont été recuits sont soumis à des variations continues d'aimantation, comme cela arrive dans toutes les machines et transformateurs. Cette modification des propriétés magnétiques, avec le temps, n'étant pas générale, il est à craindre que des fers de mauvaise qualité soient amenés par le recuit à cet état instable où leurs propriétés sont comparables à celles des bons fers.

L'opinion généralement admise aujourd'hui est que la variation des propriétés magnétiques a surtout pour cause l'échauffement qui se produit toujours dans les appareils électriques, et l'expérience montre qu'un étuvage de quelques jours seulement peut ramener les fers à l'état stable.

Vérification de la constance de l'hystérésis. — Le moyen à em-

ployer consiste à mettre les échantillons du fer à essayer dans une étuve chauffée vers 140° , et à les y laisser quelques jours. Si le fer est susceptible de varier, il se modifie très rapidement, et des mesures faites régulièrement indiquent le moment où cette variation devient négligeable. Ce procédé, employé depuis longtemps aux usines du Creusot, a toujours fourni de bons résultats. Peut-être pourrait-on faire quelques réserves sur la température de l'étuve, les différentes qualités de fer ne se comportant pas de même dans cette circonstance.

Coefficient d'hystérésis. — Toutes les notations employées pour indiquer l'hystérésis reposent implicitement sur la loi empirique de Steinmetz, mais elles diffèrent par les grandeurs choisies comme unités.

Le coefficient de Steinmetz représente, en ergs, l'énergie dépensée dans 1 cm^3 de fer parcourant un cycle où $\mathfrak{H}$ varie de plus à moins 1 gauss.

Dans beaucoup de marchés, on trouve l'hystérésis exprimée par la puissance dépensée, rapportée au kilogramme de fer, à un certain nombre de cycles par seconde, 50 ou 100 tours en général, et enfin à des cycles où $\mathfrak{H}$ atteint des valeurs très différentes : 4000, 10000, etc.

Comme exemple, nous pouvons citer les notations suivantes et leur rapport avec le coefficient de Steinmetz η :

Allemagne	Watts par kilogramme, 50 périodes, $\mathfrak{H} = 10000$	$P = 1530\eta$
Angleterre	Ergs par centimètre cube et par cycle, $\mathfrak{H} = 4000$	$W = 580000\eta$
»	Watts par livre, 100 périodes, $\mathfrak{H} = 4000$	$P = 341\eta$

Cette diversité des notations rend la comparaison des résultats assez difficile, et il semble qu'il vaut mieux recommander l'emploi du coefficient de Steinmetz.

Loi de Steinmetz. — La loi de Steinmetz, où l'hystérésis est représentée comme proportionnelle à la puissance 1,6 de l'induction $\mathfrak{H}$, n'est qu'une loi empirique, et l'examen des résultats publiés jusqu'ici semble montrer que l'exposant de $\mathfrak{H}$ varie sensiblement d'un fer à l'autre, mais la pratique montre que, dans la plupart des

applications où l'on a à tenir compte de l'hystérésis, cette loi donne des résultats suffisants.

Tolérance sur l'hystérésis. — Le coefficient d'hystérésis étant bien défini et la méthode ou l'appareil de mesure étant spécifié, il faut envisager la tolérance à accorder à un double point de vue : d'abord il est nécessaire d'indiquer, en valeur relative, l'écart entre les limites maximum et minimum que peut présenter l'hystérésis, dans une même fourniture, par suite des défauts d'homogénéité. Une tolérance de 20 pour 100 ne paraît pas exagérée à ce sujet, dans l'état actuel de la métallurgie. De plus, il faut accorder une tolérance d'au moins 5 pour 100 sur la valeur absolue, pour tenir compte des erreurs de mesures et des différences systématiques des appareils entre eux.

Les indications ci-dessus résument les résultats obtenus par la sixième Commission; ils ne sont pas définitifs et il est à désirer que des observations nombreuses soient apportées sur ce sujet.

Nouvelles questions. — Parmi les questions posées dans le premier rapport, un certain nombre n'ont pas reçu de réponses; d'autres questions ont été soulevées depuis; les unes et les autres sont résumées ci-dessous :

1° Donner le plus possible les spécifications des marchés, afin d'établir exactement les desiderata de l'industrie actuelle.

2° Pour les constructeurs. Quelles sont les améliorations désirables dans les propriétés magnétiques des fers? Pourrait-on accepter une augmentation de prix pour ces améliorations, et quelle en serait la grandeur relative?

3° Pour les métallurgistes. Quelles sont les améliorations que l'on pourrait apporter aux propriétés magnétiques et quelle augmentation de prix en résulterait actuellement?

4° Citer des exemples certains de l'augmentation de l'hystérésis et, plus généralement, des variations des propriétés magnétiques causées par l'usage continu du fer dans les machines et les alternateurs. Il serait bon de compléter ces renseignements en indiquant les autres modifications des propriétés du fer : la malléabilité, par exemple, ainsi que de faire des mesures sur le fer seul, quand la

machine est démontée, la plupart des exemples déjà cités reposant sur des mesures globales où les phénomènes magnétiques sont simplement mesurés par différence.

5° Les défauts d'homogénéité ont-ils une influence considérable sur les résultats obtenus dans les machines? En particulier, a-t-on constaté une augmentation des courants de Foucault, due aux inégalités de la perméabilité?

6° Y a-t-il intérêt à préciser dans les marchés la composition chimique des fers?

Dans les fers employés ordinairement la composition chimique ne paraît pas jouer un rôle aussi important que l'état physique. Cependant, étant donné que, par le réchauffage à l'étuve, on détruit l'effet du recuit et que, malgré cela, les différences entre les fers sont considérables; comme, d'autre part, la présence de quantités très petites de corps étrangers amène des modifications profondes dans les propriétés magnétiques, il est utile d'apporter le plus d'éléments possible dans la discussion de cette partie si obscure de nos idées sur le magnétisme.

LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ.

Le Laboratoire est en état d'entreprendre l'étude complète des compteurs à courant alternatif. Les types de 10 à 50 ampères sous 110 volts conviennent bien à cette étude. Le programme, qui peut d'ailleurs être modifié suivant les besoins, comprend :

1° Étude du compteur sur circuit non inductif à la fréquence et à la tension normales ;

2° Étude du compteur sur circuit inductif dans les mêmes conditions ; dans ce cas, les essais sont conduits d'une manière systématique, de la manière suivante : le décalage étant maintenu constant, on étudie le compteur pour des puissances croissantes, dans les limites de débit qu'il peut supporter, et l'on répète la même série d'essais pour une série de valeurs de $\cos \varphi$. On obtient ainsi une famille de courbes pour des $\cos \varphi$ variant de 0,1 à 1 ;

3° Étude du compteur sur circuit inductif et non inductif sous la tension normale à une fréquence supérieure et inférieure à la normale ;

4° Même étude à fréquence normale et à une tension supérieure et inférieure à la normale ;

5° Influence d'une inclinaison du compteur ;

6° Coefficient de température ;

7° Influence d'un court-circuit momentané.

Prorogation de la concession du terrain des ambulances.

Paris, le 30 avril 1902.

MONSIEUR LE DIRECTEUR,

Par une délibération en date du 26 mars 1902, le Conseil municipal de la Ville de Paris a modifié les termes de sa délibération précédente du 13 décembre 1901, et a décidé que la concession à la Société internationale des Électriciens des terrains et bâtiments de la station d'ambulances de la rue de Staël aurait une durée de 60 années à dater du jour de l'entrée en jouissance et que le bail du 14 mars 1894 serait prorogé jusqu'à l'expiration de la nouvelle concession.

Cette délibération a été approuvée par un arrêté préfectoral en date du 26 de ce mois, dont j'ai l'honneur de vous adresser une ampliation.

Veuillez agréer, Monsieur le Directeur, l'assurance de ma considération la plus distinguée.

Pour le Directeur des Affaires municipales,

*Le Chef du Bureau du Travail et des établissements sanitaires
et charitables.*

Signature : illisible.

LE PRÉFET DE LA SEINE,

Vu la délibération du Conseil municipal de la Ville de Paris, en date du 13 décembre 1901, portant qu'il y a lieu : 1° de transférer, sur un terrain communal sis à l'angle des rues Falguières et Vigée-Lebrun, la station des voitures d'ambulances actuellement installée rue de Staël; 2° de concéder à la Société internationale des Électriciens le terrain et les bâtiments de la station à déplacer, lesdits terrains et bâtiments devant faire retour à la Ville de Paris en même temps que ceux contigus, actuellement occupés par elle, et ladite concession devant avoir lieu aux mêmes conditions;

Vu l'arrêté en date du 23 janvier 1902, approuvatif de ladite délibération;

Vu la délibération du Conseil municipal de la Ville de Paris, en date du 26 mars 1902, qui a modifié la délibération susvisée, en ce sens que le point de départ de la concession des 60 années accordée à la Société internationale des Électriciens doit être fixée au jour de l'entrée en jouissance des lieux loués et que le bail du 14 mars 1894 est prorogé jusqu'à l'expiration de la nouvelle concession;

Vu le bail du 14 mars 1894;
Vu les lois des 18 juillet 1837, 24 juillet 1867 et 5 avril 1884;
Vu le règlement du 28 décembre 1878 sur la comptabilité de la Ville de Paris,

ARRÊTE :

ARTICLE PREMIER. — La délibération susvisée du Conseil municipal de la Ville de Paris, en date du 26 mars 1902, est approuvée.

En conséquence, l'article 3 de l'arrêté du 23 janvier 1902 est modifié de la façon suivante : « **ART. 3.** — Est autorisée, sous la réserve spécifiée à l'article suivant, la concession à la Société internationale des Électriciens du terrain et des bâtiments de la station à déplacer. Cette concession est faite pour une durée de 60 années, qui commenceront à courir du jour de l'entrée en jouissance des lieux loués et sous les mêmes clauses et conditions que celles insérées dans le bail du 14 mars 1894, notamment l'obligation d'abandonner sans indemnité à la Ville de Paris, à la fin de la concession, les bâtiments concédés et les constructions nouvelles qui pourraient être édifiées par la Société.

» Le bail du 14 mars 1894 est prorogé jusqu'à l'expiration de la nouvelle concession. »

ART. 2. — Les autres dispositions de l'arrêté du 23 janvier 1902 continueront de sortir leur plein et entier effet.

ART. 3. — Ampliation du présent arrêté sera adressée :

- 1° A la Direction administrative des Services d'architecture ;
- 2° A la Direction des Affaires municipales (Bureau du Domaine de la Ville) ;
- 3° A M. le Chef du Cabinet.

Fait à Paris, le 26 avril 1902,

Pour le Préfet et par délégation :

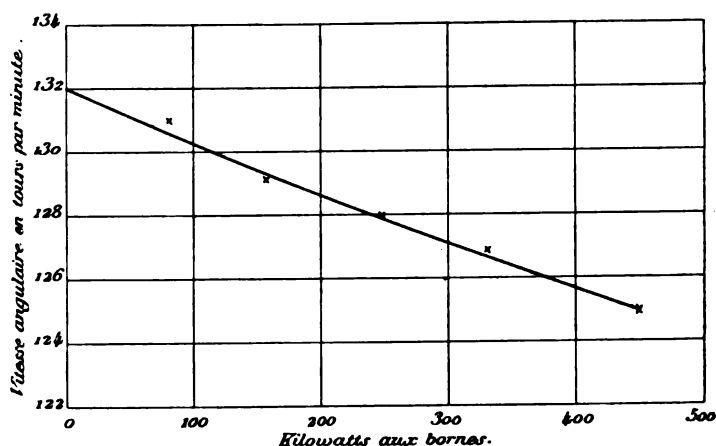
Le Secrétaire général de la Préfecture,

Signé : AUTRAND.

ANNEXE.

Le Rapport sur la question des régulateurs de vitesse, lu par M. C.-F. Guilbert en avril dernier, contenait deux courbes de régulateurs relevées sur des moteurs à vapeur conduisant des alternateurs destinés à fonctionner en parallèle avec d'autres unités semblables.

La courbe que nous reproduisons ci-contre est analogue à celles



que nous venons de rappeler et a été relevée, sur un groupe Creusot de 400 kilowatts du Secteur de la Rive gauche, par M. G. Chevrier.

Elle représente la variation de la vitesse angulaire, en fonction de la charge aux bornes, pour une pression constante aux tiroirs du moteur à vapeur.

BIBLIOGRAPHIE.

Electric power transmission (a practical treatise for practical men),
par LOUIS BELL, Ph. D. 3^e édition, revue et augmentée.

Le titre expose suffisamment le but recherché par l'auteur : écrire un *traité pratique pour les praticiens*.

Comme le Dr Louis Bell l'indiquait dans la préface de la première édition, il est précieux d'économiser le temps que les industriels peuvent consacrer à l'étude ; il faut pour cela éliminer toutes discussions sur des théories dont les résultats pratiques sont reconnus et éviter des développements mathématiques que personne ne conteste. Néanmoins, en poursuivant son plan, l'auteur a eu soin d'introduire les considérations théoriques nécessaires toutes les fois qu'elles étaient susceptibles d'éclairer une méthode ou d'en abrégier l'exposé.

Mais, en écrivant un traité sur ces bases, la nécessité d'éditions successives s'impose afin d'en maintenir la valeur à la hauteur des progrès journaliers. C'est à ce motif que doit être imputée la répétition des éditions, si largement pratiquée outre-Océan ; il y a lieu de s'en applaudir, quand il s'agit de l'importance d'un travail tel que celui dont le Dr Louis Bell nous donne la troisième édition, quatre ans après la première.

Certains Chapitres ont été complètement transformés ou innovés.

Signalons un Chapitre sur les mesures électriques de pratique courante et un chapitre final sur l'état actuel de la transmission à haute tension.

L'énumération des titres des principaux Chapitres nous dispensera complètement d'insister sur les mérites d'un Volume consacré uniquement à la transmission électrique de l'énergie.

Dans l'exposé des principes élémentaires et des conditions générales de la transmission de l'énergie nous trouvons une discussion étendue des divers procédés de transmission en dehors même de l'électricité.

Cinq Chapitres nous permettent ensuite de parcourir les solutions électriques du problème, courant continu et courants alternatifs, et décrivent substantiellement les organes générateurs ou récepteurs intervenant dans les transformations.

Les autres et nombreux Chapitres sont exclusivement relatifs à l'organisation des stations centrales, aux engins mécaniques, à l'établissement des lignes et enfin aux questions commerciales.

Ce n'est pas là, on le voit, la partie la moins importante ; nous pouvons ajouter que l'auteur y a porté un soin tout particulier. A cet égard, nous ne croyons pas qu'il y ait actuellement un Ouvrage plus au point dans la littérature électrotechnique.

L'édition par elle-même mérite les éloges habituellement dus aux publications de l'*Electrical World and Engineer*.

Les rayons cathodiques, par P. VILLARD, Docteur ès sciences (*Scientia* : Série physico-mathématique, n° 10). Georges Carré et Naud, éditeurs.

Ce Volume est le dixième de la Série physico-mathématique de la publication *Scientia*, dont la valeur s'affirme de plus en plus.

M. Villard résume la question si intéressante des rayons cathodiques, depuis la description des appareils permettant la raréfaction des gaz jusqu'aux propriétés des corps radioactifs, en passant par l'étude des phénomènes d'émission et des différents modes d'action.

Le meilleur éloge, croyons-nous, qu'on puisse faire de ce petit Traité est d'en souhaiter prochainement un semblable consacré particulièrement aux corps radioactifs et à leurs surprenantes propriétés, auxquelles un trop court et final Chapitre est ici consacré.

La bibliographie qui accompagne, paragraphe par paragraphe, l'exposé des matières n'est pas l'un des moindres mérites de la publication.

Électromoteurs. — I. *Courant continu*, par G. ROESSLER, Professeur à l'École supérieure technique de Berlin, traduit par E. SAMITCA, Ingénieur des Arts et Manufactures. Grand in-8 avec figures.

Ce livre s'adresse surtout au public dépourvu de toutes connaissances mathématiques et voulant prendre contact avec la question des électromoteurs.

Il faut tenir compte au traducteur des difficultés qu'il a dû certainement rencontrer pour transposer dans notre langue un simple Ouvrage de vulgarisation établi dans un idiome différent.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

France.

Des connaissances physiques en Photothérapie, par le Dr F.-V. FOVEAU DE COURMELLES. Rome, 1902 ; une brochure in-4° (Extrait de la *Revue internationale de Thérapie physique*). (Don de l'Auteur.)

Étude pratique sur les différents systèmes d'éclairage (gaz, acétylène, pétrole, alcool, électricité), par J. DEFAYS et H. PITTET. Paris, Gauthier-Villars et Masson, sans date ; 1 volume in-16° broché (*Encyclopédie des Aide-Mémoire*). (Don des Éditeurs.)

Formules et Tables pour le calcul des conducteurs aériens, par F. LOPPÉ. Paris, E. Bernard et C^e, 1902 ; 1 vol. grand in-8° broché. (Don de l'Éditeur.)

Les générateurs d'électricité à l'Exposition universelle de 1900, par C.-F. GUILBERT, contenant 20 Tableaux hors texte, 615 gravures et plans, dont 118 planches hors texte. Paris, C. Naud, 1902 ; 1 volume in-8° jésus broché. (Don de l'Éditeur.)

Étranger.

Mémoire sur une boussole d'alarme ou avertisseur électromagnétique de l'approche d'un navire en fer, par A. SPILBERG, ingénieur. Bruxelles, 1902 ; une brochure in-8° (Extrait du *Bulletin mensuel de la Société belge d'Électriciens*, t. XIX, 1902). (Don de l'Auteur.)

AVIS.

Les Membres de la Société qui désireraient acquérir la collection complète du journal *la Lumière électrique* sont avisés qu'une collection provenant de la bibliothèque d'un Sociétaire décédé serait cédée à des conditions avantageuses.

S'adresser au siège social, 14, rue de Staël.



BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Alternateurs autoexcitateurs types d'induction (M. A. Heyland), p. 541. — *Discussion* (M. Boucherot), p. 565; (M. P. Janet), p. 572; (M. M. Latour), p. 574; (M. Korda), p. 585; (M. J. Rey), p. 586; (M. Heyland), p. 587; (M. Hospitalier), p. 590; (M. Heyland), p. 591. — L'éclat intrinsèque des gros arcs à courant continu (M. J. Rey), p. 593. — *Discussion* (M. Villard), p. 614.

PÉRIODIQUES ÉTRANGERS, p. 616.

BIBLIOGRAPHIE, p. 619.

OUVRAGES OFFERTS, p. 624.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION SUPPLÉMENTAIRE

du mercredi 18 juin 1902 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENTE DE M. E. HARLÉ.

La séance est ouverte à 8^h40^m du soir et le procès-verbal de la dernière réunion mensuelle adopté.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Bibliothèque (p. 624) et des demandes d'admission suivantes :

MM.

Ancel (Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur des Services électriques de la Maison P. Ancel-Seitz, 28, avenue Raphaël, à Paris. — Présenté par MM. Pataud et Vinson.

Lestrade (Georges-Paul), Ingénieur des Constructions civiles, licencié en droit, Sous-Inspecteur au Service du matériel de la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest, 44, rue de Rome, à Paris. — Présenté par MM. Goldsmith et Mazen.

Rodier (Pierre), Élève à l'École supérieure d'Electricité, 8, rue Meissonnier, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Société parisienne pour l'industrie des Chemins de fer et des tramways électriques, 31, avenue de l'Opéra, à Paris. — Présentée par MM. Janet et Chaumat.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT fait part du décès de M. THUBAudeau, membre de la Société et en exprime ses regrets.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

ALTERNATEURS AUTOEXCITATEURS TYPES D'INDUCTION.

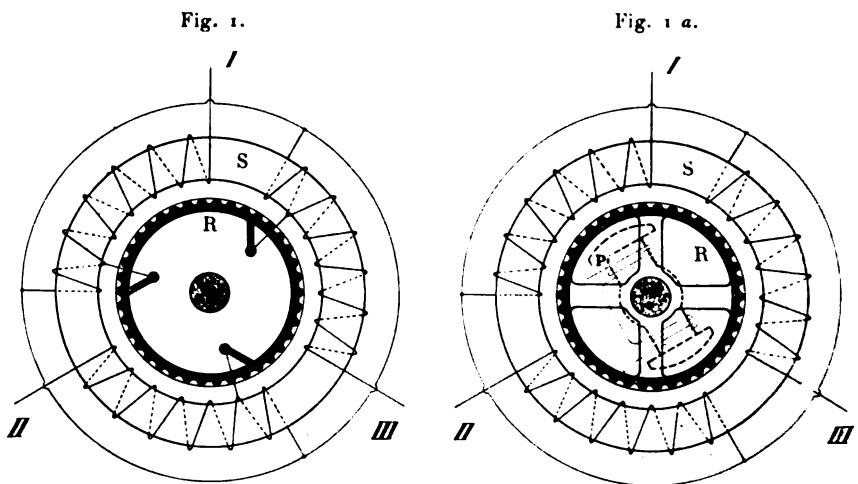
M. A. HEYLAND. — « Messieurs, la réversibilité des machines d'induction asynchrones est une propriété notoirement connue aujourd'hui. Elles peuvent aussi bien transformer l'énergie électrique en énergie mécanique que réciproquement l'énergie mécanique en électrique. Si, malgré cette facilité dans l'établissement du principe, les génératrices asynchrones, d'une construction si simple, n'ont guère trouvé d'applications pratiques jusqu'ici, cela tient à plusieurs raisons qui se dégagent de l'historique suivant.

» Le premier qui a proposé de tirer parti de la réversibilité des machines asynchrones pour la génération des courants fut M. Maurice Leblanc, dont tout le monde connaît l'intéressante Communication à ce sujet au Congrès international des électriciens en 1900. Dans cette Communication, il a envisagé le fonctionnement en parallèle de plusieurs unités asynchrones accouplées à une seule machine synchrone, le *chef d'orchestre*, qui permet de maintenir constant le nombre de périodes et qui fournit en même temps les courants déwattés, c'est-à-dire les courants de magnétisation que ces machines asynchrones empruntent au réseau. Le plus grand inconvénient qu'offre cette proposition consiste en ce que la machine synchrone devient trop importante. En effet, les courants déwattés que les machines asynchrones nécessitent pour leur excitation ont pour conséquence un déphasage entre le courant total résultant et la tension aux bornes. Si φ est l'angle de phase, le courant de travail est proportionnel à $\cos \varphi$, et le courant déwatté que la machine synchrone doit fournir est proportionnel à $\sin \varphi$. Cela veut dire qu'en dehors des machines asynchrones, dont la puissance est déjà effectivement réduite dans le rapport de $\cos \varphi$, il faudrait encore ajouter gratuitement une machine synchrone qui, pour $\cos \varphi = 0,7$, devrait déjà être aussi grande que toutes les machines asynchrones ensemble. Pour $\cos \varphi = 0,8$, elle aurait encore 75 pour 100, et pour $\cos \varphi = 0,9$ à peu près 50 pour 100 de la puissance totale des machines asynchrones.

» Pour éviter cet énorme emploi de machines, M. Leblanc propose de rendre autoexcitatrices les machines asynchrones et de supprimer ainsi la machine synchrone qui fournit les courants d'excitation. Il indique, comme moyen, un transformateur rotatif auxiliaire, intercalé dans le circuit du rotor et qui, en déphasant les courants dans le sens de la magnétisation, aura un effet analogue à celui d'un condensateur. Toutefois, l'adjonction d'un moteur-dynamo rend le dispositif trop compliqué et explique le peu de développement du système jusqu'ici.

» Tous ces inconvénients sont éliminés par l'emploi d'un système de compensation que j'ai inventé pour les machines d'induction asynchrones.

» 1^o *Compensation.* — Le principe de cette compensation est représenté par le schéma de la figure 1.

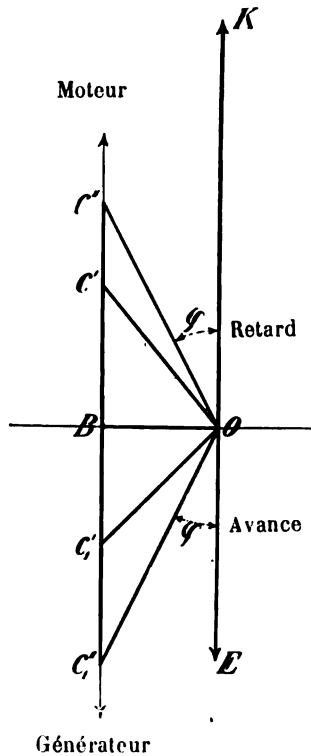


» Le diagramme d'une machine d'induction ordinaire, qu'elle travaille en réceptrice ou en génératrice et sans tenir compte de la dispersion, est identique à celui que M. Kapp préconise pour les transformateurs (*fig. 2*). Soit OK la tension constante aux bornes; le courant constant OB que la machine emprunte au réseau pour sa magnétisation est décalé d'un quart d'onde. En chargeant la machine comme réceptrice, son nombre de tours diminue et il se produit dans le rotor un courant induit BC' ou BC''; le courant du stator augmente en conséquence par la composante wattée proportionnellement à la

charge, et le courant total absorbé par la machine devient OC' ou OC'' , avec un décalage de phase φ .

» Si, par contre, la machine est chargée comme génératrice en la faisant fonctionner au-dessus du synchronisme, la composante wattée s'ajoute en sens inverse de précédemment, et le courant

Fig. 2.



total devient OC' ou OC'' . Nous voyons qu'à toutes charges la machine emprunte au réseau un courant d'excitation OB décalé de 90° .

» Ce courant est annulé suivant le schéma de la figure 1 par le fait que je produis le champ tournant dans l'induit en court-circuit, dans le rotor, en y introduisant le courant d'excitation par des balais et un collecteur parallèlement à l'enroulement principal de la machine et de même parallèlement à l'enroulement en court-circuit du rotor.

» Le collecteur est relié directement ou indirectement à l'enroulement en court-circuit et travaille sans étincelles comme une bague ordinaire d'un moteur asynchrone. Que le rotor tourne ou qu'il soit

au repos, le champ excité dans sa masse par le courant d'excitation amené par le collecteur tournera à toutes les vitesses synchroniquement par rapport au stator. Si le rotor était au repos, ce dispositif n'offrirait aucun avantage, car le nombre de périodes serait le même dans le rotor et dans le stator, et, en admettant les mêmes nombres de spires dans les deux, la force contre-électromotrice serait également la même dans les deux. Mais, comme la vitesse des machines d'induction diffère de celle du synchronisme par le glissement, ne représentant que quelques pour 100 en général, le nombre de périodes du champ induit dans le rotor est également très faible. Au synchronisme, ce champ serait totalement constant. Aux diverses charges, la vitesse de ce champ augmenterait, par suite du glissement, jusqu'à 4 ou 5 pour 100, par exemple, de celle correspondant au réseau. Le collecteur transforme ainsi le nombre de périodes du réseau en un nombre réduit correspondant exactement au glissement. Le champ qui en résulte dans le rotor tourne avec la vitesse du glissement par rapport au rotor; par conséquent il tourne synchroniquement par rapport au stator.

» Il en résulte naturellement que ce courant de compensation ou d'excitation n'a besoin de développer qu'une force électromotrice dépassant à peine la chute ohmique à cause de la basse fréquence de ce courant. Ce dernier est donc un courant presque purement watté représentant comme énergie à peine 1 pour 100 de la puissance totale de la machine, tandis que les courants de magnétisation du stator que ce courant doit compenser ou annuler représentent, même pour d'excellentes machines, une puissance apparente de 30 à 40 pour 100 de la puissance de la machine.

» En admettant, pour le courant d'excitation, le même nombre de spires environ sur le rotor et sur le stator, la tension aux bornes du moteur serait trop élevée pour fournir le courant d'excitation du rotor. On peut facilement y remédier en prenant le courant d'excitation sur quelques spires seulement du stator ou bien en intercalant un transformateur qui réduit convenablement la tension aux bornes. J'ai employé l'une et l'autre méthode dans nos premiers moteurs, ainsi que je l'ai mentionné dans mes publications des mois août-novembre 1901.

» Un autre résultat qui est également acquis par le faible taux

d'énergie que représente le courant d'excitation, c'est que ce courant d'excitation peut facilement augmenter dans de larges mesures. On peut donc obtenir une surcompensation ou surexcitation de telle façon que la machine compense non seulement ses propres courants déwattés, mais aussi ceux du réseau.

» Pour mieux comprendre ce qui se passe, on peut avoir recours à une analogie mécanique. Soit (*fig. 1 a*) S le stator et R le rotor. Ce dernier est fixé comme d'habitude à l'axe; seulement il est creux et à son intérieur se trouve un inducteur P placé en poulie folle sur l'axe. Excitons cet inducteur avec du courant continu. Il tournera avec une vitesse absolument synchrone. Par contre, le rotor, avec son enroulement en court-circuit et son axe, tournera d'une manière asynchrone, et, s'il s'agit de réceptrice, il restera, avec un glissement correspondant à la charge, en arrière de la vitesse du synchronisme; comme génératrice, en avant. Cette machine est également une machine d'induction asynchrone, et, si l'excitation de l'inducteur tournant est bien choisie, les courants du stator ainsi que du rotor seront complètement wattés.

» Cette machine est analogue à notre machine d'induction asynchrone représentée dans la figure 1. En effet, dans cette dernière, l'inducteur mobile excité par du courant continu est remplacé par notre système d'excitation au moyen de courant alternatif transformé à un nombre de périodes réduit. Cet exemple vous montre d'un autre côté que le courant passant par les balais ne fournit, pour ainsi dire, que l'impulsion pour l'excitation du champ et ne participe pas directement à la création du couple. Il peut, du reste, être aussi bien du courant monophasé que du courant polyphasé. Le couple ne sera produit que par l'action entre le courant du stator et le courant induit par le glissement dans l'enroulement en court-circuit du rotor. Pour une réceptrice, ainsi que pour une génératrice à charge non inductive, il s'agit là de courants wattés de valeur égale, mais de sens contraire, de telle sorte que réellement ils annulent automatiquement la réaction entre le stator et le rotor et, par conséquent, la chute de tension également, sauf celle due à la dispersion ainsi qu'à la perte ohmique.

» C'est une différence essentielle par rapport aux autres machines électriques, dont la réaction d'induit est d'une nécessité théorique même.

» Les diagrammes pour les réceptrices, ainsi que pour les généra-

Fig. 3.

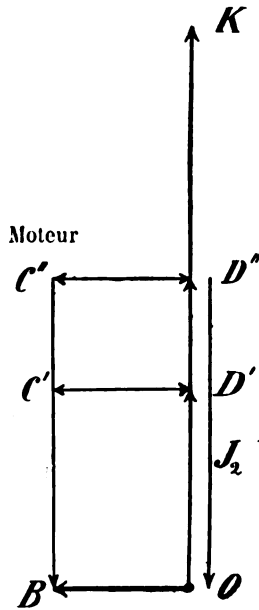
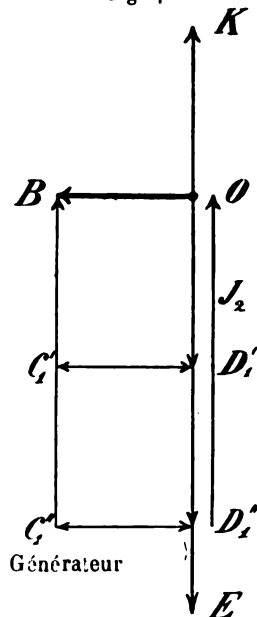


Fig. 4.



trices à charges non inductives, sont représentés par les figures 3 et 4. Le courant de magnétisation OB est annulé par le courant de compensation $C'D'$, $C''D''$, ..., qui reste constamment le même, et le

courant du stator tombe exactement dans la direction de la tension OD' , OD'' pour une réceptrice et OD'_1 , OD''_1 pour une génératrice.

» La manière dont la compensation peut être réalisée est représentée schématiquement par les figures 5a et 5b. On peut, soit munir

Fig. 5 a.

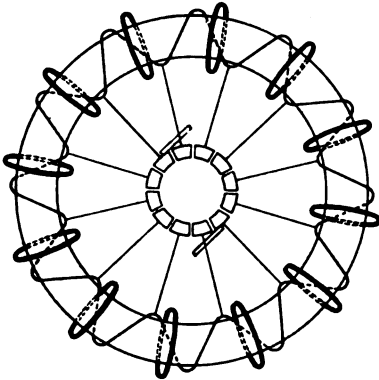
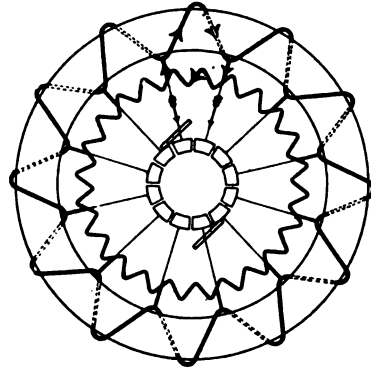


Fig. 5 b.



l'induit en court-circuit, en dehors de l'enroulement ordinaire, d'un deuxième enroulement, celui de la compensation, qui conduit au collecteur (*fig. 5a*), soit fermer l'enroulement du rotor sur lui-même par une série de conducteurs dont la résistance est choisie dans un certain rapport à celle de l'enroulement (*fig. 5b*).

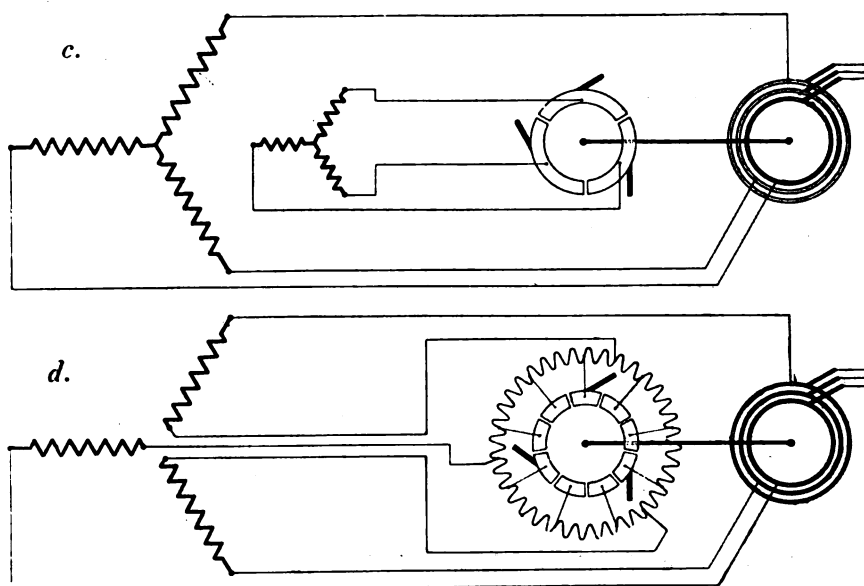
» Ces conducteurs forment une bague qui est reliée au collecteur. Ce dispositif correspond également à celui de la figure 1, où la bague de fermeture elle-même sert de collecteur. Cette dernière disposition serait la plus simple au point de vue théorique, mais impraticable, car, ou bien les courants deviendraient trop forts sous les balais, ou bien, même en choisissant le nombre de spires assez grand, on ne trouverait pas de matières remplissant les conditions de résistance nécessaires. Dans la pratique, on a recours, par conséquent, à un collecteur dont les segments sont reliés entre eux par des shunts.

» Les figures 5c et 5d concernent des moteurs à résistance de démarrage. L'enroulement du rotor est triphasé et se trouve en relation, d'un côté avec un collecteur, et, de l'autre côté, avec trois bagues à frotteurs.

Il résulte de tous ces dispositifs que le rôle du collecteur est

tout autre que dans les machines ordinaires, et cet organe de dimensions très réduites n'a rien de commun avec les collecteurs, mal

Fig. 5 c et 5 d.



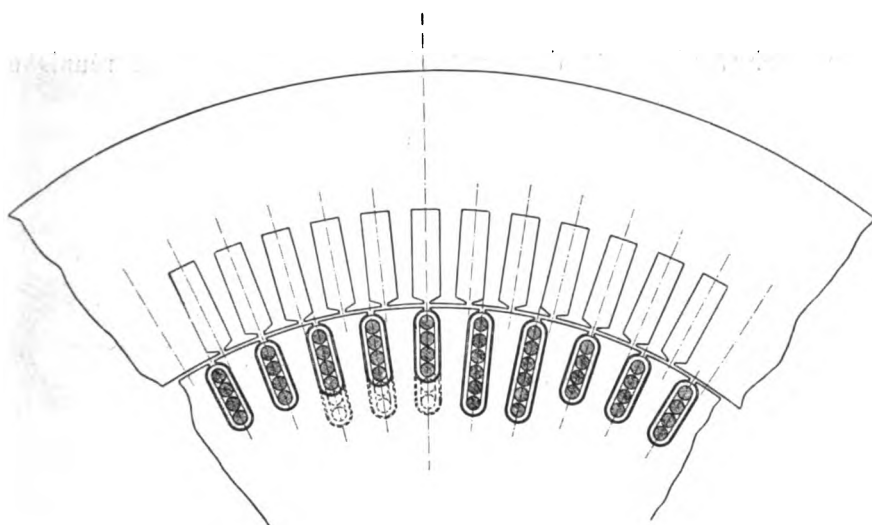
réputés, surtout pour les moteurs à courants alternatifs, pour le grand nombre de leurs segments et pour leurs étincelles plus ou moins évitables.

» Ce collecteur n'appartient pas aux organes principaux de la machine, car, en somme, il peut être intercalé ou supprimé sans que la machine cesse pour cela de fonctionner. Il représente un organe accessoire de la machine en vue de l'autoexcitation. Par la combinaison heureuse du collecteur avec l'induit en court-circuit, les propriétés désagréables du collecteur sont d'avance éliminées. Il devient aussi petit, aussi simple et aussi dépourvu d'étincelles qu'une bague ordinaire et ne reçoit que juste le nombre de segments nécessaire pour éviter un court-circuit franc entre deux balais consécutifs, soit 4 à 6 segments par pôle.

» Les figures 6 et 7 représentent quelques considérations sur le dispositif convenable et sur l'arrangement de l'enroulement de compensation. J'en profite pour indiquer en quelques mots les raisons théoriques qui font que, malgré l'adjonction d'un enroulement de compensation, le rendement de la machine, non seulement ne

diminue pas, mais peut même être plus grand que celui d'une machine non compensée. On sait que, dans les machines d'induction ordinaires, on est obligé d'être très parcimonieux sur la profondeur des entailles, à cause de la dispersion et du mauvais $\cos\varphi$. Dans les

Fig. 6.



moteurs compensés, on n'a pas à tenir compte du $\cos\varphi$; par conséquent, on peut donner aux entailles une profondeur plus grande qu'aux autres machines. Imaginons que, dans la figure 6, les entailles peu profondes représentent celles d'un moteur normal. L'enroulement de compensation ne sera pas placé dans ces mêmes entailles; mais, ainsi qu'il est représenté dans la figure, on approfondira les entailles, et aux 4 fils existants on ajoutera, par exemple, 2 fils supplémentaires affectés à l'enroulement de compensation.

» Envisageons d'abord le cas où l'enroulement en court-circuit et l'enroulement d'excitation sont complètement séparés. Un simple calcul ci-après montre que l'on a, si ω représente la résistance par fil, n le nombre d'entailles, i le courant de compensation et J le courant induit dans l'enroulement en court-circuit pour la pleine charge, une perte totale de

$$\omega n (4J^2 + 2i^2).$$

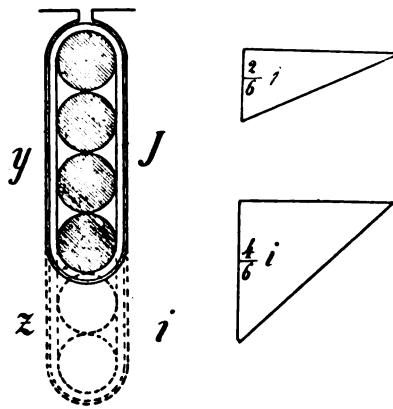
» ω résistance par fil, n nombre de rainures.

» 1. Enroulements de court-circuit et d'excitation séparés.

$$\begin{aligned}\text{Courant induit} &= J, \\ \text{Courant d'excitation} &= i, \\ \text{Glissement} &= 4\omega n J^2, \\ \text{Excitation} &= 2\omega n i^2, \\ \text{Perte totale} &= \omega n (4J^2 + 2i^2).\end{aligned}$$

» 2. Enroulements de court-circuit et d'excitation réunis et

Fig. 7.



fermés sur eux-mêmes par des connexions dont la résistance totale soit

$$x\omega n = 3\omega n \left[x = (z + y) \frac{z}{y} \right].$$

» Dans l'enroulement :

$$\text{Courant d'induction} = \frac{4}{6} J,$$

$$\text{Courant d'excitation} = \frac{2}{6} i,$$

$$\text{Somme} = \sqrt{\left(\frac{2}{3} J\right)^2 + \left(\frac{1}{3} i\right)^2}.$$

» Dans les connexions :

$$\text{Courant d'induction} = \frac{4}{6} J,$$

$$\text{Courant d'excitation} = \frac{4}{6} i,$$

$$\text{Somme} = \sqrt{\left(\frac{2}{3} J\right)^2 + \left(\frac{2}{3} i\right)^2}.$$

» Perte totale :

$$\left[\left(\frac{2}{3} J \right)^2 + \left(\frac{1}{3} i \right)^2 \right] 6 \omega n + \left[\left(\frac{2}{3} J \right)^2 + \left(\frac{2}{3} i \right)^2 \right] 3 \omega n = \omega n (4 J^2 + 2 i^2).$$

» Considérons maintenant le cas où l'enroulement en court-circuit et celui de l'excitation se trouvent réunis et fermés par une bague de fermeture unique (*fig. 5b*). Mettons que la perte totale reste la même que dans le cas précédent. On peut alors démontrer que la bague de fermeture a une résistance équivalente à celle des fils augmentée dans le rapport de $\frac{2}{4} (2 + 4)$, c'est-à-dire de $3 \omega n$.

» En correspondance avec cette augmentation du nombre de spires, le courant d'excitation se réduit à $\frac{4}{6} J$, et le courant induit à $\frac{2}{6} i$. Dans la bague de fermeture ayant la moitié de la résistance de l'enroulement passent, en même temps, d'une part, le courant $\frac{4}{6} J$ et, d'autre part, un courant de $\frac{4}{6} i$. Comme les deux courants présentent un déphasage de 90° l'un par rapport à l'autre, ils s'additionnent dans l'enroulement comme des vecteurs à

$$\sqrt{\left(\frac{4}{6} J \right)^2 + \left(\frac{2}{6} i \right)^2}$$

et, dans la bague de fermeture, à

$$\sqrt{\left(\frac{4}{6} J \right)^2 + \left(\frac{4}{6} i \right)^2},$$

ainsi que le calcul le fait voir, la perte totale devient de nouveau

$$\omega n (4 J^2 + 2 i^2).$$

Cela veut dire tout d'abord que, malgré la dérivation, la perte totale n'augmente pas. En second lieu, il faut ajouter que cette dérivation a encore un autre effet précieux : c'est d'annuler, dans l'enroulement, les pulsations du courant. Ces pulsations, qui, dans le premier dispositif, sont encore appréciables, deviennent nulles dans le deuxième, qui, par conséquent, est préférable.

» Imaginons, pour le premier dispositif, un enroulement de compensation représenté dans les figures 8a et 8b par un enroulement en anneau. Mettons que le rotor soit immobile et les balais mobiles

et que l'excitation se fasse en courants diphasés; on a donc 4 balais. Dans deux positions consécutives des balais, le champ aura la position indiquée par les flèches.

» Dans la position *a*, le courant de la phase 1 aura la valeur = J et celui de la phase 2 la valeur nulle = 0; par contre, dans la position *b*, on aura phase 1 = phase 2 = $\frac{J}{\sqrt{2}}$. On voit par conséquent que,

Fig. 8 a.

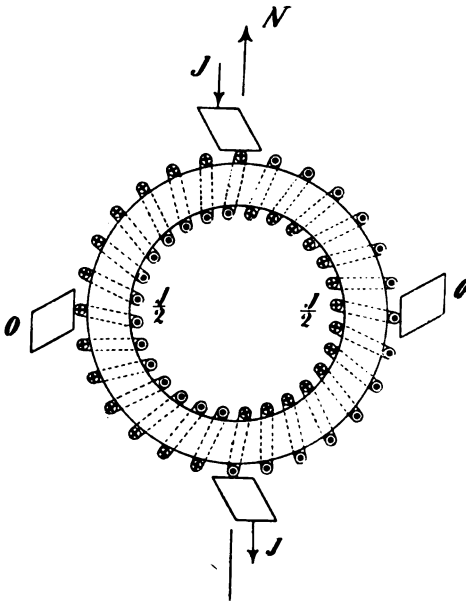
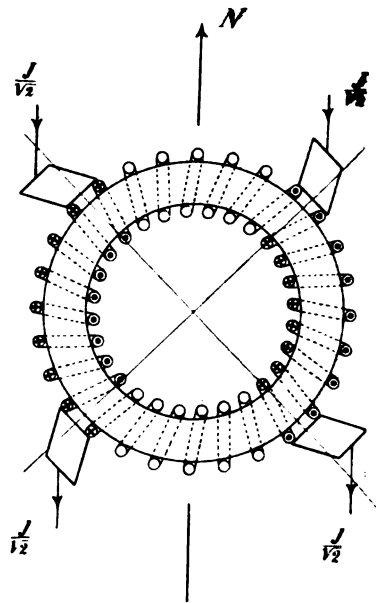


Fig. 8 b.



tandis qu'à la position *a* il passe un courant par toutes les spires, dans la position *b* la moitié des spires reste sans courant aucun. Ce cas se répète 4 fois par tour, c'est-à-dire que nous obtiendrons dans la moitié des spires un courant alternatif dont la fréquence sera 4 fois celle du réseau. Si ce dernier est de 50 périodes, les pulsations entre les valeurs 0 et J auront donc lieu 200 fois par seconde. M. Gœrges a déjà insisté sur cette particularité dans une Conférence au Congrès des Électriciens, à Francfort, à l'occasion de ses recherches sur les moteurs polyphasés à collecteur qu'il a dû abandonner, à mon avis, en raison de ce défaut même (voir *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1891). Bien que la self-induction de ces pulsations soit atténuée, dans les moteurs en question, par l'enroulement spécial de court-circuit, elle se fait quand même désagréable-

ment sentir, amène des pertes et exige un collecteur à segments nombreux.

» Dans le deuxième dispositif, où l'on emploie une bague de court-circuit, ces pulsations n'ont plus lieu. Le courant de l'enroulement est aussi uniforme que si l'on amenait, par deux balais tournant lentement, un courant continu dans le rotor. Ce dernier dispositif, avec du courant continu, fut du reste proposé dans le temps par M. Blondel. Les pulsations se ferment par le court-circuit, qui remplit par conséquent un but double : d'abord la fermeture du circuit des courants induits et ensuite le nivellement des irrégularités des courants d'excitation, et, par conséquent, il maintient le champ parfaitement constant. Ainsi, le collecteur n'a pas l'aspect de celui d'une machine à courant continu. Il est constitué de très peu de segments consécutifs. On compte 4 à 6 segments par pôle. On a mis en doute, de plusieurs côtés, que les connexions à lames puissent remplacer la bague de court-circuit des moteurs d'induction. En effet, on croyait que les courants induits seraient obligés quand même de se fermer à travers les balais par le réseau dont la résistance est plus petite que celle de la bague de court-circuit. Dans les publications récentes françaises, on peut trouver plusieurs théories à ce sujet. Comme dans les simples moteurs à collecteur, la totalité du courant devrait se fermer par des balais ; l'un des auteurs admet qu'un centième du courant pourrait au plus se fermer par les connexions que je préconise, l'autre auteur fixe ce maximum à un millième du courant total.

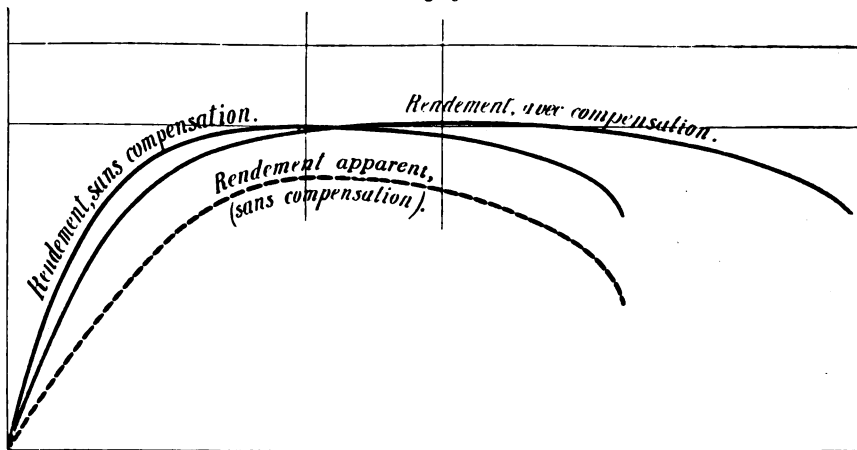
» De telles conclusions dépendent toujours du point de départ des théories que l'on établit. En réalité, à peu près la totalité du courant induit passe par les connexions, comme c'était prévu ; car, ainsi que l'on peut s'en rendre compte par les courbes ci-dessous, le courant qui passe par les balais reste à peu près constant. Dans le cas de la figure 11, il diminue même avec la charge, tandis que le courant d'induction doit évidemment augmenter à ce moment. Tout cela s'explique simplement et d'une façon naturelle par les pulsations que Gœrges a déjà signalées en 1891 pour ses moteurs à collecteur et qui ne peuvent pas se manifester dans le cas d'un moteur à induction en question, car elles produiraient des forces électromotrices de self-induction par rapport auxquelles la faible force

électromotrice de l'enroulement en court-circuit disparaîtrait complètement.

» On peut aller plus loin : on peut augmenter la profondeur des entailles autant que les considérations pratiques le permettent, et l'on trouvera que, pour une puissance égale, le poids du cuivre sur le rotor est toujours moins important que celui de l'enroulement polaire des machines synchrones, et cela à cause de la faible réaction d'induit des machines synchrones, qui nécessitent beaucoup d'ampères-tours sur les pôles. On peut, de même, augmenter la profondeur des entailles du stator et augmenter par ce moyen le rendement et même, pour une élévation donnée de la température, la puissance de la machine.

» Il est intéressant d'ajouter que, pour une compensation complète, l'autoexcitation permet déjà, à elle seule, une augmentation de la surcharge de 40 à 50 pour 100. En effet, le champ étant produit dans le rotor, le champ du rotor ne sera pas diminué par la dispersion : au contraire, il sera plus grand que le champ du stator et précisément juste de la valeur de la dispersion, c'est-à-dire, par rapport au champ du rotor d'un moteur ordinaire, juste de la valeur double de la dispersion, et, comme la puissance d'un moteur augmente avec le carré du champ du rotor, il en résulte une augmentation de surcharge possible de 40 à 50 pour 100.

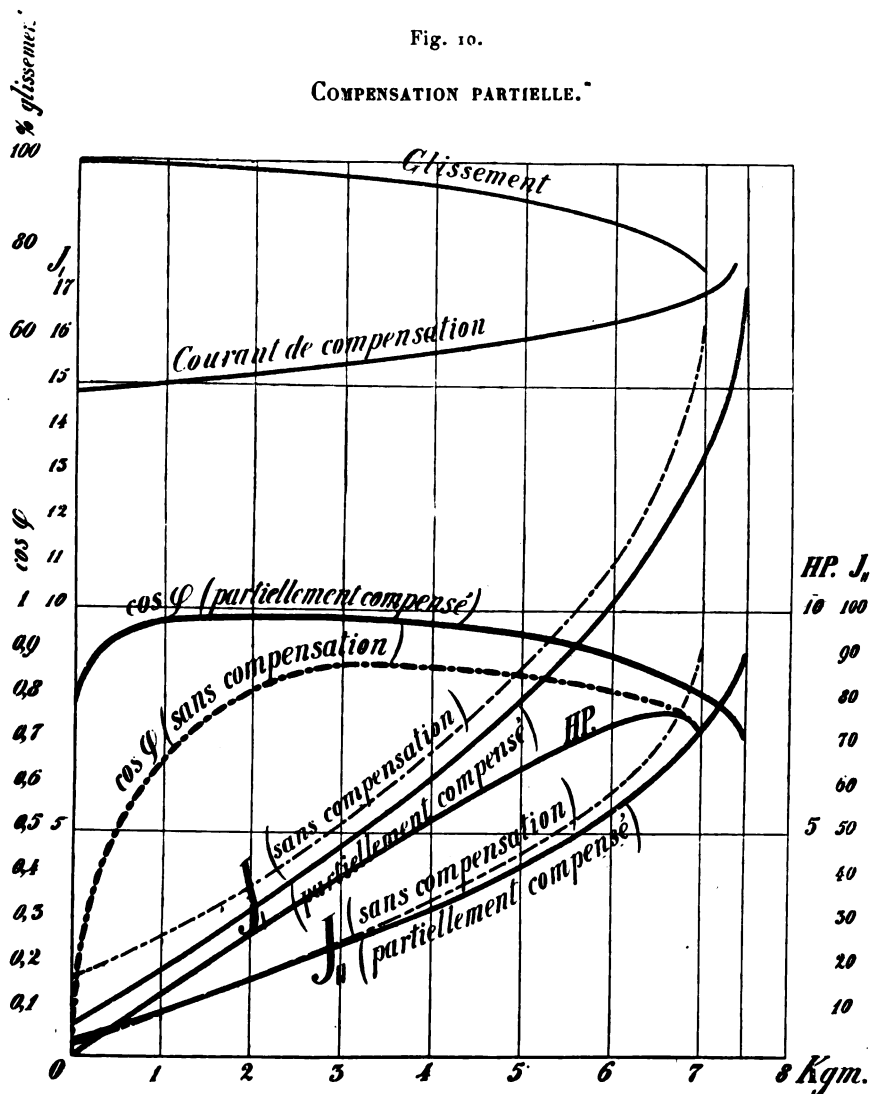
Fig. 9.



» La figure 9 montre l'allure générale des courbes de rendement d'un moteur compensé et sans compensation.

» Pour les petites charges, la courbe est un peu abaissée par les pertes d'excitation; par contre, pour les charges élevées, elle monte, à la suite de l'autoexcitation et du renforcement du champ du rotor. Elle répond alors à la courbe de rendement normale d'un moteur d'une puissance plus grande.

» Les figures 10 et 11 fournissent les courbes prises sur des ma-

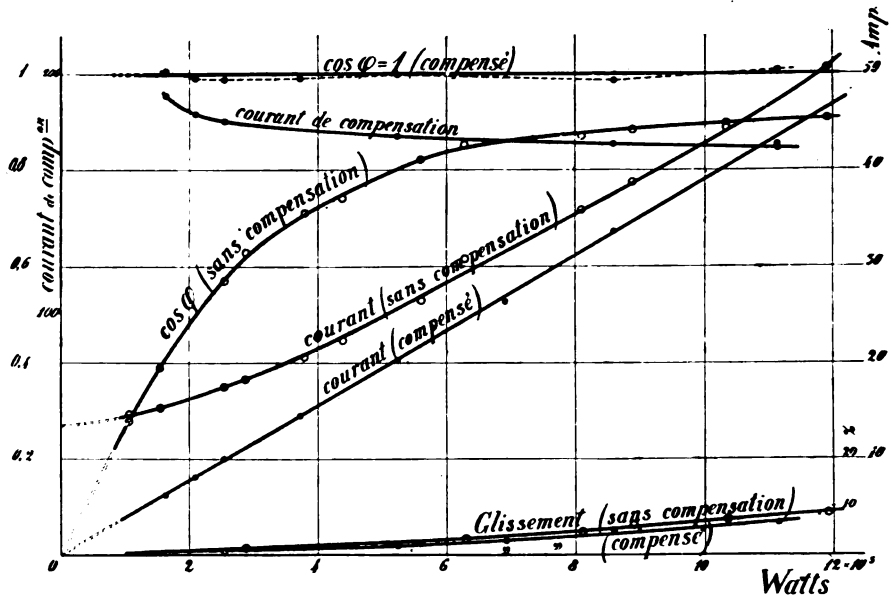


chines simplement compensées et permettent de voir l'allure pour des machines complètement ou partiellement compensées. La figure 10 se rapporte à une machine de la maison Schuckert, incom-

plètement compensée. Une des courbes correspond au cas sans compensation, l'autre à la compensation partielle. Dans ce cas, le $\cos \varphi$

Fig. 11.

COMPENSATION.



n'est pas encore tout à fait constant et n'atteint au maximum que 0,98.

» La figure 11 se rapporte à un moteur de la *Vereinigte Elektrizitäts Aktien Gesellschaft*, de Vienne, qui fut complètement compensé. On peut voir que le $\cos \varphi$ est, à toutes les charges, égal à l'unité, même à vide et à la surcharge. On aurait pu s'attendre, par suite de la dispersion, à une diminution du $\cos \varphi$. En réglant bien les balais une fois pour toutes, ce n'est pas le cas. Les balais sont réglés pour la marche à vide, et les points de la courbe sont relevés pour cette même position des balais aussi bien pour la réceptrice que pour la génératrice. L'excitation du moteur est faite en monophasé. Ce dernier mode a même donné, jusqu'ici, de meilleurs résultats que l'emploi de l'excitation polyphasée.

» Ces courbes montrent également bien ce que j'ai déduit théoriquement plus haut : la suppression de la réaction d'induit. Le courant d'excitation reste presque constant pour toutes les charges.

Tandis que pour les moteurs synchrones le $\cos \varphi$ est $= 1$ pour une seule charge et diminue ensuite pour les autres charges comme pour les moteurs asynchrones de la figure 10, ici (fig. 11) $\cos \varphi$ est absolument constant pour toutes les charges. Le glissement pour les petits moteurs est, d'ordinaire, de 4 à 5 pour 100 et l'excitation 2 pour 100; pour les grands moteurs, le glissement est 2 pour 100, l'excitation 0,5 pour 100.

» 2° *Le compoundage*. — Nous arrivons à la seconde partie de notre étude, qui est le compoundage des machines contre des charges inductives.

» Nous avons vu que, pour les charges wattées, nos machines sont automatiquement compounds par suite des courants d'induction du rotor. Ces courants sont toujours en phase avec la composante wattée du courant de charge. Par conséquent, pour la composante déwattée, toute la réaction d'induit reste intacte. On peut s'en rendre compte facilement à l'aide de l'analogie représentée par la figure 1a. Le courant induit dans le rotor, C'B, est produit par un champ tournant par rapport au rotor; il reste, par conséquent, toujours perpendiculaire au champ et annule continuellement la réaction d'induit de la composante wattée du courant du stator, composante perpendiculaire par rapport au champ. Si l'on enlève au stator un courant déphasé ou complètement déwatté, il ne se produit aucun contre-ampère-tour dans l'induit en court-circuit pour la composante déwattée, et, par conséquent, la totalité des ampères-tours déwattés du stator agit d'une façon démagnétisante sur le champ. Pour le fonctionnement de machines de construction identique, cette réaction d'induit pour courants déwattés n'aurait aucun inconvénient; au contraire, elle est nécessaire pour niveler des inégalités de tension des machines travaillant en parallèle. Les conditions sont tout autres quand il se produit de forts courants déwattés indépendants de ceux que la machine est obligée de fournir.

» Dans ce cas, mon système permet, par simple addition d'une deuxième garniture de balais, de rendre la machine absolument autocompound. Ces balais introduisent dans le rotor, au moyen du même collecteur auquel aboutit le circuit de compensation, le courant principal dans la direction convenable, de telle sorte que les ampères-tours du stator sont, dans tous les cas, contre-balancés.

» Les figures 12 et 13 représentent le dispositif pour une ma-

Fig. 12.

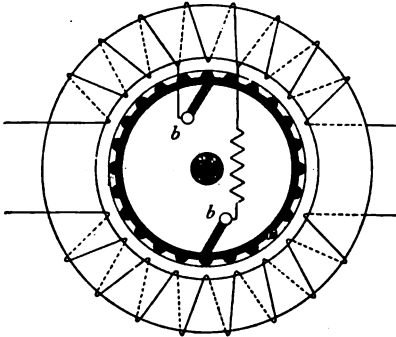
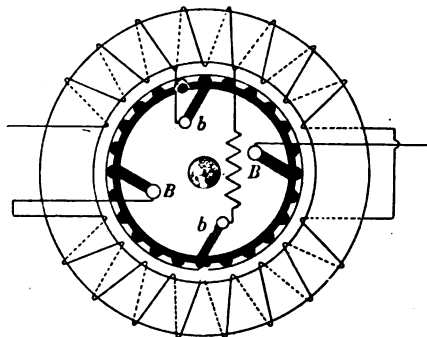


Fig. 13.



chine monophasée; bb sont les balais de compensation ou d'excitation et BB les balais de compoundage. Les diagrammes sont représentés par les figures 14 et 15, où l'on n'a pas tenu compte de

Fig. 14.

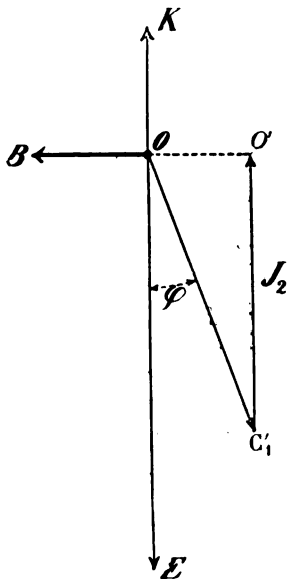
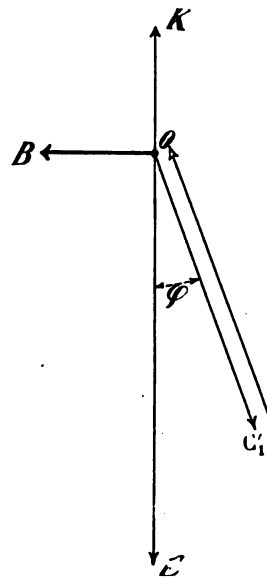


Fig. 15.

COMPOUNDAGE.



la dispersion. OC représente la force électromotrice, OC' le courant et φ le déphasage entre les deux. Le courant induit dans la direc-

tion de la force électromotrice est $C'O'$, et l'excitation devrait être portée de OB à $O'B$ pour maintenir la tension. Par contre, avec le compoundage (*fig. 15*), on amène au rotor un courant J_2 , qui est égal et de sens contraire au courant J , et cela a pour effet d'annuler la réaction d'induit OO' (*fig. 14*). Le courant d'excitation reste, par conséquent, constant $= OB$.

» Du reste, au lieu d'amener tout le courant du stator au rotor, il suffit de lui amener la composante déwattée OO' , car l'autre, la composante wattée $C'O'$, persiste comme courant induit. Pour des machines également chargées travaillant en parallèle, on peut le réaliser en ne compoundant que l'une d'elles et en conduisant les courants principaux en sens inverse dans un transformateur à deux enroulements primaires. L'enroulement secondaire fournira alors la différence, qui n'est que la composante déwattée de la machine compoundée, car le courant de la machine non compoundée est watté. Ledit courant déwatté peut ensuite être amené aux balais de compoundage de la machine compoundée. Il va sans dire que ce dispositif peut s'appliquer également à un seul alternateur dans lequel les effets des deux machines en question peuvent se réunir. Pour le premier dispositif, on conduit tout le courant au rotor. Dans ce cas, les courants, y compris ceux qui correspondent à la composante wattée du courant de charge, ne se produisent plus uniquement par induction, et le glissement deviendra plus petit, pour un compoundage exact théoriquement $= 0$ et pour un hypercompoundage même négatif, par la raison simple que, en principe, la composante wattée du rotor ne peut pas devenir plus grande que dans le stator.

» Par contre, dans le deuxième dispositif, la composante wattée se produira par induction comme dans les machines compensées, et la machine compoundée se comportera d'une manière asynchrone comme une machine compensée ordinaire.

» Les figures *16a* et *16b* représentent divers schémas de connexions. Pour pouvoir employer les mêmes rotors pour différentes tensions, on a recours à des transformateurs intercalés entre le stator et le rotor, soit suivant *a*, soit suivant *b*.

» Le schéma de connexion *a* fournit du courant triphasé; le schéma *b*, suivant la connexion Scott, fournit du courant diphasé

pour l'excitation et pour le compoundage. D'ordinaire, on emploie le schéma *a*; par contre, on a constaté que, pour un certain nombre

Fig. 16 *a*.

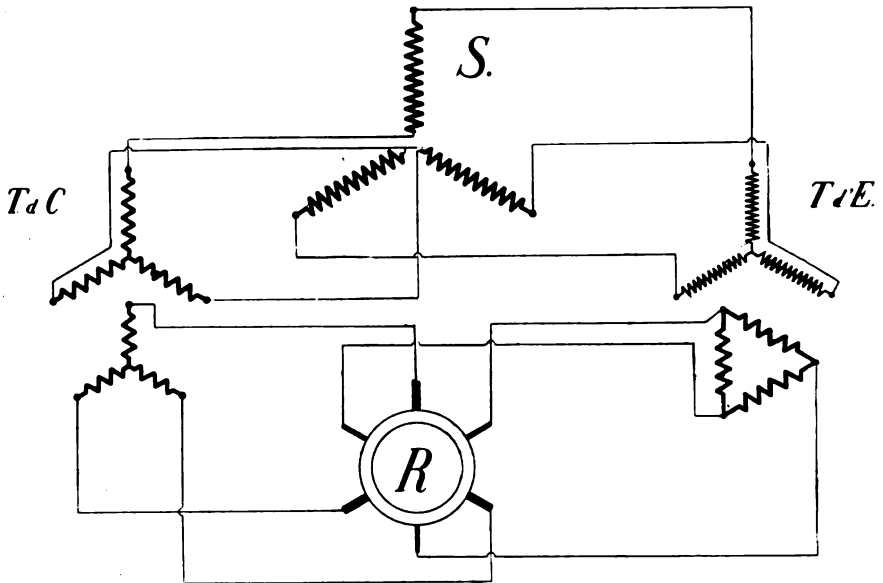
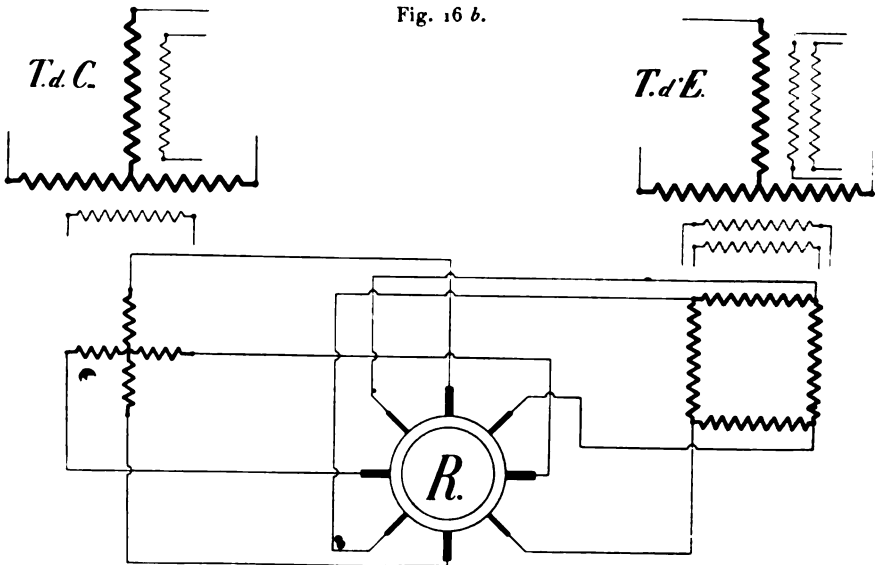


Fig. 16 *b*.



de pôles, on est obligé d'avoir recours à l'excitation diphasée et à la connexion *b*. En effet, pour certains nombres de pôles, par exemple

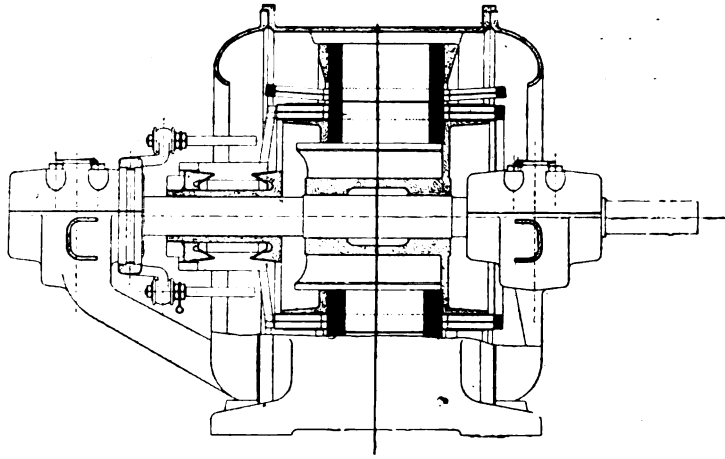
pour 6 pôles, une excitation triphasée nécessiterait une distribution dissymétrique des balais, si l'on ne veut pas mettre un axe de balais par pôle, mais seulement trois en tout autour du collecteur. Ces trois balais seraient, pour 6 pôles, distants de 40° ou 80° . D'un autre côté, on a pu constater que, pour une telle disposition dissymétrique des balais, tout en fonctionnant bien au point de vue électrique, les machines donnent lieu à un ronflement assourdissant. C'est pour éviter ce phénomène que l'on est obligé de recourir à la connexion diphasée de l'excitation, qui permet la réalisation d'une position symétrique des balais. Ces deux sortes de connexions suffisent pour tous les nombres de pôles, car on peut réaliser, soit avec l'une, soit avec l'autre, la symétrie désirable des balais. Du reste, si l'on ne craint pas la complication de placer des balais pour chaque pôle, l'excitation triphasée peut toujours être employée. Il est préférable pourtant de prévoir dans ce cas la connexion diphasée.

» On pourrait songer à réunir les deux transformateurs, celui de l'excitation et celui du compoundage en un seul. Cependant ce n'est pas aussi facile que dans le système de compoundage connu de M. Boucherot, dans lequel le courant shunt et le courant principal se réunissent dans le transformateur, dont le but unique consiste à fournir le courant d'excitation à l'excitatrice à courant continu. En effet, dans mon système, une telle réunion des deux courants donnerait lieu à un dévissage du courant shunt, ce qui rendrait illusoire la compensation. Par contre, dans le système de M. Boucherot, cet inconvénient n'a aucune importance, vu qu'il ne s'applique qu'à un courant relativement faible, celui qui sert à exciter l'excitatrice.

» Le réglage que nécessite le compoundage est excessivement simple. Il consiste en deux essais; après avoir excité convenablement la machine pour la marche à vide et après avoir bien réglé les balais, on commence à la faire travailler sous une charge purement dévissée et l'on règle le rapport du transformateur de compoundage de façon que la tension reste bien constante en plaçant ou en enlevant la charge; ensuite on charge la machine par des courants wattés et là seulement on règle les balais définitivement pour maintenir la tension à sa valeur constante. A partir de ce réglage, la machine reste compoundée à tension constante pour toutes les charges quelconques.

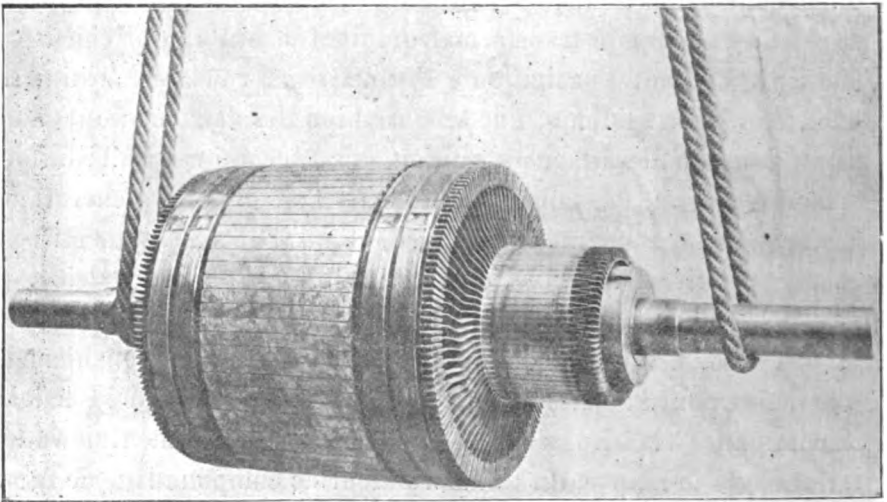
» Les figures 17 et 17a représentent une génératrice ainsi com-

Fig. 17.



GÉNÉRATEUR ASYNCHRONE COMPOUNDÉ (Brown Boveri et C^{ie}), d'après A. HEYLAND,
avec collecteur en court-circuit.

Fig. 17 a.



poundée de la Maison Brown, Boveri et C^{ie}, de Baden (Suisse), et les figures 18 et 19 montrent les courbes d'essai correspondantes de cette machine. On a pu constater que cette génératrice se laisse compounder sans aucune difficulté, à volonté. On a pu même, au moyen du choix du rapport du transformateur et par la position des

balais, arriver à régler le compoundage de manière que la machine devint exactement compound pour les courants wattés et hyper-

Fig. 18.

COMPOUNDAGE.

Courbes de tension sous charge constante et excitation variable.

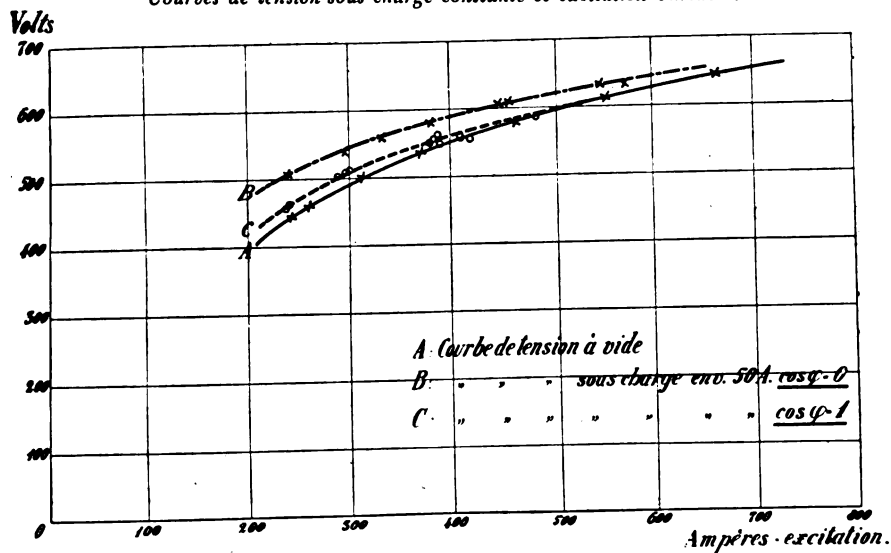
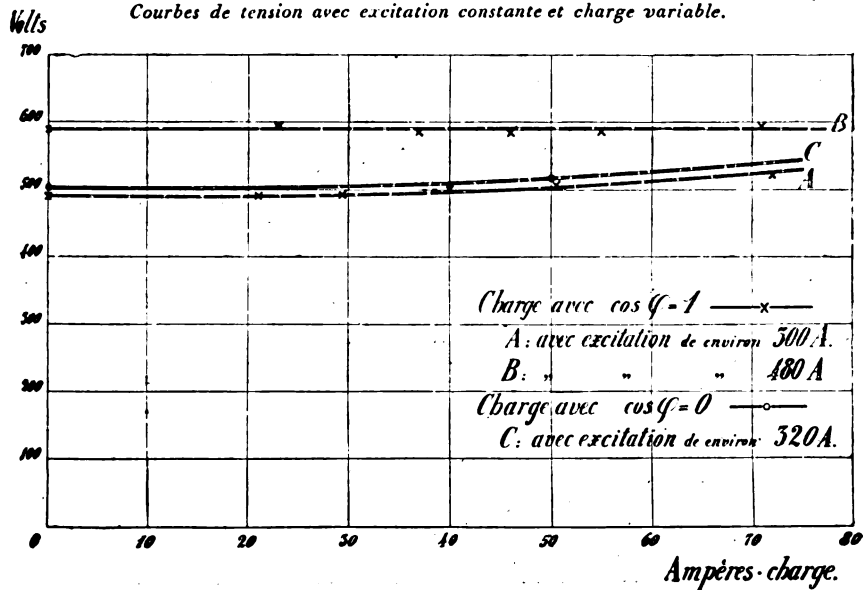


Fig. 19.

COMPOUNDAGE.

Courbes de tension avec excitation constante et charge variable.



compound pour les courants déwattés seuls. On a réalisé d'autres combinaisons également, mais cela nous conduirait trop loin de nous en occuper ici.

» Toutes ces machines sont construites de façon à profiter le plus possible de l'utilisation extrêmement économique des matières. Je n'ai pas à tenir compte d'une réaction d'induit faible, car je dispose du moyen de la compenser automatiquement pour les courants wattés et, très exactement, par compoundage spécial, pour les courants déwattés. Par la même raison, je peux choisir l'entrefer aussi petit que les considérations mécaniques l'admettent. Dans le diagramme des ampères-tours, ceux du champ sont plus petits que ceux de l'induit, exactement comme pour les moteurs asynchrones ordinaires, et par conséquent la perte d'excitation devient très petite. Il est, par contre, évident que, pour les machines synchrones, les ampères-tours du champ doivent être trois à quatre fois plus grands que ceux de l'induit pour arriver à une chute de tension tant soit peu petite, et que par conséquent ces machines comportent forcément beaucoup de cuivre dans les bobines polaires.

» Pour terminer, nous pouvons résumer les qualités et inconvénients des deux sortes de machines dont nous nous sommes occupés dans ce travail : de la machine simplement compensée et de la machine compoundée. L'avantage de la première consiste dans sa simplicité et dans l'utilisation favorable du fer et du cuivre, dans le faible courant d'excitation, dans l'absence de toute machine excitatrice et dans son remplacement par un collecteur absolument sûr comme fonctionnement et de dimensions peu importantes, dans le compoundage automatique pour les charges non inductives, de plus, dans son élasticité remarquable due à son caractère asynchrone et qui la rend très souple pour son accouplement avec des installations existantes, aussi bien quand il s'agit du fonctionnement comme génératrice avec charges non inductives que lorsqu'il s'agit de réceptrice à $\cos\phi$ constamment égal à l'unité.

» D'un autre côté, la machine compoundée est caractérisée par sa grande indépendance par rapport aux machines travaillant en parallèle. Elle n'est pas aussi asynchrone que la machine simplement compensée. Son nombre de tours et sa fréquence correspondent,

pour un compoundage exact, presque au synchronisme, et sa fréquence pour l'hypercompoundage peut même dépasser le produit du nombre de pôles par le nombre de tours. Par contre, la machine compoundée est plus grande qu'une machine simplement compensée de la même puissance; notamment son collecteur, qui doit laisser passer le courant principal, est notablement plus grand que le collecteur d'excitation ou de compensation.

» Comme la machine compoundée présente une constance remarquable de tension et s'approche beaucoup du synchronisme, elle se prête bien au rôle de *chef d'orchestre* dans une installation où il y a beaucoup d'unités en parallèle; par contre, pour ces dernières et pour les réceptrices, on préférera les machines simplement compensées. Dans ce cas, les courants déwattés se limiteront aux courants à vide des transformateurs, aux courants de démarrage des moteurs et aux courants déwattés des petits moteurs non compensés. En hypercompensant l'un ou l'autre moteur, on peut réduire énormément même ces restes de courants déwattés.

» On réunira alors les grands avantages des courants alternatifs : simplicité de construction et facilité de transformation, à celui des courants continus; absence de courants déwattés, c'est-à-dire de tout décalage entre tension et courant. »

M. le PRÉSIDENT exprime sa reconnaissance à M. Heyland d'avoir bien voulu communiquer ses travaux à la Société.

M. BOUCHEROT. — « Messieurs, le Bureau de la Société m'a exprimé le désir de me voir prendre part à cette discussion, afin de donner mon avis sur la valeur technique des procédés et dispositifs décrits par MM. Latour et Heyland.

» En répondant à ce désir, je risque fort d'indisposer chacun de ces messieurs, mais j'éviterai soigneusement d'exprimer mon sentiment sur les questions de priorité.

» Tout d'abord, je dirai que je suis de l'avis, déjà exprimé par M. Picou, qu'il s'agit en l'espèce d'une seule et même machine ayant, comme stator, un induit d'alternateur et, comme rotor, un induit de dynamo à courant continu; au point de vue doctrinaire, classique si vous voulez, la chose ne peut pas être envisagée autre-

ment, et le premier mode d'exposition de M. Heyland, consistant à présenter le rotor comme une cage d'écureuil dans laquelle on fait entrer des courants par les bagues, ne peut être considéré que comme un acheminement à la disposition définitive.

» Ceci posé, quelques calculs théoriques ne sont pas superflus, non pas pour le plaisir de faire des formules ou des théories, mais pour insister sur quelques points qui me paraissent avoir été négligés par les auteurs.

» Supposons une telle machine branchée sur un réseau infini à tension et fréquence constantes et que le $\cos\varphi$ des courants du stator soit constamment égal à l'unité (ce qui revient à dire : supposons le problème résolu dans le cas du moteur).

» Le courant total efficace I à faire pénétrer par les balais dans le rotor peut, comme toujours, être considéré comme la superposition d'un courant magnétisant I_m (ou d'excitation) et d'un courant de travail I_w ; ces trois courants formant, comme toujours, les trois côtés d'un triangle rectangle et tels que

$$I_m = I \cos\psi \quad \text{et} \quad I_w = I \sin\psi,$$

ψ étant le déphasage du courant magnétisant sur le courant total.

» Un calcul simple montre que, si ω est la vitesse du champ et Ω la vitesse du rotor (machine à deux pôles), on a pour la différence de potentiel E aux balais, pour un calage déterminé de ceux-ci :

$$E = 2pe(\omega - \Omega) \cos\omega t + \sqrt{2} \frac{R\pi}{2} I \sin(\omega t + \psi),$$

dans laquelle p est le nombre de spires par radiant, e la force électromotrice par spire pour une vitesse angulaire unité, et R la résistance de l'enroulement pour un radiant.

» Plusieurs conclusions intéressantes se dégagent de cette formule simple :

» 1^o En appliquant une différence de potentiel *quelconque* aux balais (en série ou en dérivation par conséquent), il y a toujours une vitesse Ω , pour laquelle l'équation est satisfaite, et, par conséquent, le $\cos\varphi$ égal à 1, ainsi que l'a expliqué M. Gœrges en présentant une machine ainsi constituée au Congrès international de Francfort de 1891; et cette vitesse n'est pas nécessairement celle

du synchronisme; ce même auteur a donc eu raison de ne pas spécifier la vitesse du synchronisme comme correspondant à $\cos \varphi = 1$.

» 2° A vide, le courant de travail étant nul, la formule de la différence de potentiel aux balais est

$$E_v = 2pe(\omega - \Omega_1) \cos \omega t + \sqrt{2} \frac{R\pi}{2} I_m \sin \omega t.$$

La vitesse Ω_1 à vide peut donc être quelconque; elle dépend, comme dans une machine à courant continu, de la tension appliquée à l'excitation. Une telle machine est donc *essentiellement asynchrone*, et le fait qu'elle produit le minimum d'étincelles au synchronisme ne modifie en rien cette conclusion.

» 3° En maintenant une tension constante en valeur et en phase aux balais, les vitesses à vide et en charge sont reliées par la relation

$$\Omega_1 - \Omega_2 = -\sqrt{2} R \frac{\pi}{2} \frac{I_w}{2pe} = k I_w.$$

Le fait que cette relation ne contient pas ω et que la différence de vitesse, entre les marches à vide et en charge, est proportionnelle au courant de travail et, par conséquent, à la puissance prouve encore que ce genre de machines est essentiellement asynchrone.

» 4° Il y a certainement intérêt, eu égard aux étincelles du collecteur et pour une utilisation rationnelle des matériaux, à se tenir aux environs du synchronisme, au-dessus ou au-dessous ⁽¹⁾ indifféremment; on peut faire $\Omega_1 = \omega$, solution que semble préférer M. Heyland, ou $\Omega_2 = \omega$, solution que semble préférer M. Latour, et, dans ces conditions, sans toucher aux balais et sans modifier la tension d'excitation, le $\cos \varphi$ se maintiendrait égal à 1 constamment *s'il n'y avait pas de fuites magnétiques*.

» Il est facile de voir que l'introduction de résistances en dérivation sur les sections ne modifie en rien ces résultats; elle peut être efficace au point de vue des étincelles, elle ne change pas les qua-

(1) La propriété de pouvoir fonctionner en moteur au-dessus comme au-dessous du synchronisme, ou en générateur au-dessous comme au-dessus du synchronisme, n'est pas particulière à ce genre de machines; elle est commune à toutes les machines d'induction dans les rotors desquelles on introduit des forces électromotrices extérieures, ainsi que je l'ai mis en évidence dans un brevet pris en mars 1899.

lités fondamentales, et seul le courant passant dans les balais est affecté. Si ρ est la somme des résistances d'un balai à l'autre, le courant est majoré de $\sqrt{2} \frac{\pi}{2} \frac{R}{\rho} I_m \sin \omega t$ dans le cas où l'on a le synchronisme à vide; il est majoré de $\sqrt{2} \frac{\pi}{2} \frac{R}{\rho} I \sin(\omega t + \psi)$ dans le cas où l'on a le synchronisme en charge.

» Il n'en est pas de même si l'on ajoute, dans le rotor, une cage d'écureuil, ou des enroulements fermés sur eux-mêmes *isolés* de l'enroulement à collecteur: des courants en phase avec le courant de travail, mais dont la grandeur et le sens dépendent de la grandeur et du signe du glissement ($\omega - \Omega$) se ferment dans ces enroulements; le fonctionnement est alors complètement modifié, ce qui n'a rien de surprenant, puisque l'on réunit en une seule deux machines ayant des qualités très différentes.

» Enfin, on peut se proposer de maintenir systématiquement le synchronisme à toutes les charges; autre chose est d'y arriver. En principe, soit que l'on règle à chaque instant la tension d'excitation et le calage des balais, soit que l'on ajoute au système un transformateur compoundeur comme celui que j'emploie dans mon procédé de compoundage des alternateurs, la chose est possible; mais pratiquement, pour des causes très diverses, on ne sera que très rarement au synchronisme véritable et toujours aux environs du synchronisme; je crois d'ailleurs que cela n'a pas d'importance, et je veux expliquer par là que la volonté, exprimée par M. Latour, de se tenir de parti pris au synchronisme ne constitue qu'une déclaration platonique.

» Pour répondre complètement à la demande qui m'a été faite, il me reste à examiner quel peut être le succès réservé à ce genre de machines. Il est toujours dangereux de se prononcer sur des sujets aussi délicats; à vouloir prophétiser on s'expose à recevoir des faits de cruels démentis; mais on peut examiner les circonstances sans prétention et sans parti pris. Je dis bien sans parti pris et, pour qu'on ne croie pas que dans ce qui va suivre j'obéis à des préoccupations mercantiles, je tiens à faire connaître ce qui suit. Au moment où M. Latour prit son brevet (1), avant et après, il vint me trouver pour

(1) Décembre 1900.

me demander de prendre en main cette affaire pour la souder, si je puis m'exprimer ainsi, aux miennes; après mûres réflexions et sans que le côté financier de la question ait été abordé, je me prononçai pour la négative; les raisons que je lui fis valoir sont celles que j'expose plus loin: elles peuvent être mauvaises, elles sont sincères.

» Un profane qui aurait prêté une oreille attentive à nos discussions depuis 10 ans serait très surpris en ce moment; il se dirait : « Ce sont des gens singuliers; pendant des années ils ont prôné les » avantages des appareils à courants alternatifs résultant de leur » robustesse, de l'absence de collecteurs, etc., et les voilà qui » mettent des collecteurs à leurs machines à courants alternatifs! » Ce sont là évidemment propos d'un profane qui ne connaît pas les subtilités du cosinus φ , et cependant...

» Deux cas sont à considérer et peuvent conduire à des opinions différentes: l'emploi de ces machines comme générateurs ou leur emploi comme moteurs. Occupons-nous d'abord des moteurs.

» Toute la question se réduit à ceci: pour amener le cos φ du moteur asynchrone, non pas à l'unité, mais aux environs de 1, y a-t-il lieu de sacrifier sa simplicité et de lui ajouter un transformateur de petites dimensions et un collecteur qui n'a, il est vrai, qu'à commuter une très petite puissance, mais sous une tension si faible aussi, qu'il doit avoir sensiblement les dimensions d'un collecteur de dynamo à courant continu de même puissance faite pour une tension de 100 ou 200 volts?

» A vivre au milieu des choses, on arrive petit à petit à perdre de vue l'importance des parties essentielles et à donner aux détails une valeur exagérée; il est difficile de se soustraire à cette tendance, mais il y a, je crois, une très bonne méthode pour examiner la valeur relative d'une chose nouvelle en s'affranchissant de cette sujétion: elle consiste à renverser les faits chronologiquement.

» Supposons donc que le moteur à cage d'écureuil ou à bagues n'ait jamais existé, qu'il n'y ait que des moteurs à collecteur ⁽¹⁾ et qu'un inventeur découvre le moteur asynchrone ordinaire. Eu égard à la grande sympathie qu'un inventeur accorde toujours à ses

(1) Supposition gratuite d'ailleurs, car peut-être les courants polyphasés n'auraient-ils pas pris les développements que l'on sait.

œuvres, il tiendrait à peu près ce langage : Messieurs, les moteurs actuels, qui ont un $\cos \phi$ voisin de 1, sont très compliqués par la présence d'un collecteur et l'addition d'un transformateur; cela, parce que l'on veut qu'ils produisent eux-mêmes leur champ magnétique. J'ai découvert que cela n'est nullement nécessaire, que l'on peut laisser aux génératrices le soin de produire les courants nécessaires à la réalisation des champs magnétiques dans toutes les réceptrices, et que, de ce fait, on peut simplifier grandement ces réceptrices, supprimer le collecteur et le transformateur, fermer les enroulements du rotor sur eux-mêmes, le rotor n'ayant dès lors plus aucune communication électrique avec le stator ou la ligne. Cette simplification est d'une portée considérable, car elle est en harmonie complète avec les nécessités des distributions d'énergie, dans la réalisation desquelles une préoccupation constante doit guider : la simplification, toujours, des réceptrices, même, s'il le fallait, au détriment des qualités théoriques, parce qu'elles sont le *nombre* et que, de ce fait, on ne peut point leur accorder les soins, l'attention, l'entretien que l'on peut accorder aux génératrices, qu'il y a intérêt, au contraire, à perfectionner au détriment, dans une certaine mesure, de leur simplicité. Tout en simplifiant ainsi les réceptrices, je centralise à l'usine génératrice la production du courant dévatté ou, plus exactement, de la puissance magnétisante. On m'objectera que je dois augmenter les dimensions des génératrices; à quoi je réponds que ce sont de grandes machines, et que la dépense supplémentaire que j'aurai à faire de ce chef sera bien moindre que l'économie que je réaliserai sur beaucoup de petits moteurs dont le prix par cheval, ou kilowatt, est beaucoup plus grand. On m'objectera que je perdrai plus dans les lignes; à égalité de tension, au lieu de perdre 2 pour 100, j'en perdrai 3, et ce centième de différence, si même je dois m'en occuper, ne le regagnerai-je pas dans mes moteurs? Et quand on se fixe, dans l'étude d'une distribution d'énergie, aux tensions de 250, 1000 ou 8000 volts, qui vraiment pense qu'on ne pourrait pas tout aussi bien s'arrêter à 300, 1200 ou 10000 volts? Il faudrait n'avoir jamais fait un projet pour penser ainsi. Je sais encore que dans les moteurs puissants je devrai réduire les entrefers, mais ce détail n'intéresse que le constructeur, et, sincèrement, celui-ci a-t-il le droit, pour s'affranchir

du souci de soigner sa construction mécanique, d'imposer une sujétion continuelle à son client ?

» Ainsi parlerait cet inventeur, et je serais de son avis, car ce sont les idées que j'ai *toujours* professées à ce sujet; il serait facile de s'en assurer (1). Je rappelle à cet égard la discussion qui eut lieu, il y a 6 ou 7 ans, autour du moteur synchrone muni d'amortisseurs, excité ou surexcité; il devait, dans l'esprit de quelques-uns, supplanter le moteur asynchrone, toujours en raison du $\cos \varphi$. Qu'en est-il résulté ?

» La situation semble différente aujourd'hui, surtout au point de vue du démarrage, mais elle présente cependant quelque analogie.

» Comme génératrice, cette machine peut, il me semble, au contraire, présenter plus d'avantages.

» Mais il faut écarter tout d'abord les machines à faible vitesse, les alternateurs volants; on ne voit pas très bien une machine ainsi réalisée avec 60 ou 80 pôles; je ne dis pas que cela est impossible, mais cela paraît bien peu avantageux à côté d'un alternateur volant ordinaire muni d'une excitatrice.

» Restent les génératrices à courroies, jusqu'à 20 pôles. Si quelque fait imprévu ne vient pas modifier les prévisions, si la tenue des balais est satisfaisante, il semble que ces génératrices peuvent avoir un certain succès; mais il ne faudrait pas croire qu'elles présentent, sur les alternateurs synchrones ordinaires, des avantages marqués. La nécessité de feuilleter le rotor, d'y mettre une quantité de cuivre, toutes choses égales d'ailleurs, supérieure à celle que l'on doit mettre dans un alternateur ordinaire; le collecteur, qui, ainsi que je l'ai dit, doit avoir les dimensions d'un collecteur ordinaire de dynamo à courant continu; le transformateur d'excitation: tout cela vaut bien une excitatrice comme prix.

» On affirme que le couplage en parallèle sera plus facile que pour des alternateurs synchrones; je me permettrai de faire remarquer qu'on ne le sait pas encore d'une façon absolue; cet espoir repose sur ce qu'on sait des machines asynchrones en général; ce

(1) De ce que j'ai essayé de rendre industriels les condensateurs, on ne saurait conclure le contraire; si les condensateurs coûtaient peu, leur placement en dérivation avec les moteurs, sur les réseaux, ne troublerait en rien la simplicité de ces moteurs et de la distribution, car ce sont des appareils complètement inertes.

n'est pas tout à fait la même chose; les alternateurs synchrones à courroies se couplent aisément en parallèle, les difficultés de couplage se rencontrent surtout avec les alternateurs volants; mais, même dans ce cas, je ne sais pas si l'alternateur asynchrone présente un avantage incontestable dans la conduite par moteurs à vapeur, le seul cas où il y ait à rechercher un avantage. J'ai, depuis assez longtemps, traité cette question par le calcul; je n'ai pas eu le temps encore de publier ce travail, mais je puis dire que je suis arrivé à ce résultat qu'au point de vue des courants de circulation, c'est-à-dire pour la tranquillité du couplage en parallèle, il faut, toutes choses égales, des volants tout aussi lourds pour les machines asynchrones que pour les machines synchrones. En tenant compte de la position relative des bielles, on peut voir même que l'avantage est aux machines synchrones; avec celles-ci, en effet, il est facile de toujours mettre les bielles en concordance, et, en fait, il résulte, de la façon même dont s'effectuent les opérations de synchronisation, qu'elles y sont presque toujours sans qu'on le veuille; dans le cas de machines asynchrones, la position relative des bielles changerait constamment, et je ne serais pas surpris qu'il faille des volants plus lourds que pour les machines synchrones, en prévision des moments où les bielles sont en discordance.

Donc, attendons que l'expérience soit venue avant de nous prononcer définitivement.

» Voilà les raisons que je fis valoir à M. Latour quand il vint me faire son offre. Je puis me tromper, mais, si j'ai pris la parole à ce sujet, c'est d'abord parce qu'on me l'a demandé; ensuite parce que, tout disposé à reconnaître que ce genre de machines peut prendre sa place, comme d'autres, je ne saurais conclure déjà, ce que j'ai lu quelque part, qu'il puisse en résulter *des modifications profondes, aussi bien à la construction des moteurs asynchrones qu'à celle des alternateurs.*

» En disant cela, je n'ai nullement l'intention de réduire le mérite qu'ont MM. Heyland et Latour de faire des recherches dans une voie qui paraissait abandonnée parce que couverte d'embûches et de fondrières. »

M. P. JANET. — « Considérons une machine de M. M. Latour, tri-

phasée par exemple, c'est-à-dire un induit de dynamo à courant continu, muni d'un collecteur et de trois balais à 120° l'un de l'autre, jouant le rôle d'inducteur et placé dans un induit fixe triphasé. Alimentons les trois balais par des courants triphasés de fréquence N pris sur un réseau de tension réglable, et faisons tourner le rotor au synchronisme, de manière à détruire les effets de la self-induction, conformément aux idées de M. Latour. Nous pouvons alors régler les tensions aux balais de telle sorte que les tensions induites aux bornes du stator leur soient égales : cette opération est identique à celle que l'on ferait sur une dynamo à excitation séparée, si l'on réglait la tension aux bornes des inducteurs de manière que la tension aux balais lui devint égale. A ce moment, nous pouvons, sans troubler l'équilibre, établir les communications respectives entre les bornes du stator et les balais ; à partir de ce moment, la machine peut être considérée comme s'excitant elle-même ; elle fonctionne à vide, c'est-à-dire peut être considérée indifféremment comme génératrice ou comme réceptrice.

» Cela posé, passons à la marche en charge : si nous voulons que la machine fonctionne comme moteur, nous respecterons la communication avec le réseau, et nous appliquerons un couple résistant ; la vitesse diminuera légèrement, et il se produira un glissement entre le champ tournant principal et l'induit.

» Si, au contraire, nous voulons que la machine fonctionne comme génératrice, nous interrompons les communications avec le réseau, de manière à avoir vraiment un alternateur auto-exciteur que nous ferons débiter sur des résistances quelconques, inductives ou non : dans ce dernier cas, il se produit encore un glissement, mais cette fois ce glissement se produit, à vitesse constante, par variation de la fréquence.

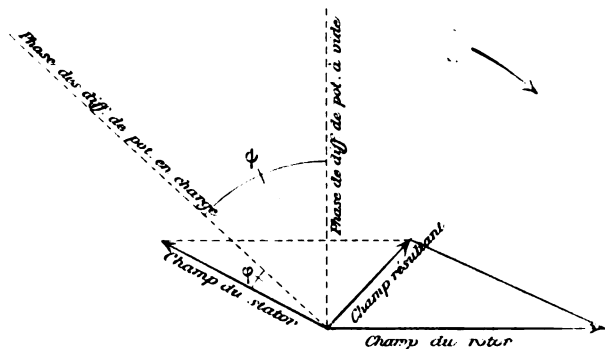
» Ainsi, dans la marche en charge, le glissement se produit par deux mécanismes différents, suivant que la machine fonctionne comme moteur ou comme génératrice : dans le premier cas, le glissement se produit à fréquence constante, par variation de vitesse ; dans le second, il se produit à vitesse constante, par variation de fréquence ; or, si l'explication physique du premier cas est très claire, il n'en est pas de même du second : il serait désirable d'avoir une explication physique simple de la variation de fréquence dans

la marche en charge, à vitesse constante, de la machine fonctionnant comme génératrice. »

M. LATOUR. — « M. Janet expose très clairement comment on peut, dans mon alternateur, par un calage judicieux des balais, établir la concordance des phases entre les tensions induites à vide aux bornes du stator et les tensions d'excitation supposées entretenues séparément entre balais.

» Cette concordance étant assurée, sans faire encore de l'auto-excitation, imaginons que nous fassions débiter le stator sur un circuit déterminé : la phase des différences de potentiel aux bornes du stator est aussitôt altérée. En effet, à vide, la phase des différences de potentiel aux bornes du stator était celle des forces électromotrices induites par le champ inducteur du rotor seul ; mais, en charge, le champ du stator intervient et la phase des différences de potentiel est en retard, dans tous les cas, sur celle des forces électromotrices induites d'un certain angle ψ (*fig. 1*) qui dépend du débit

Fig. 1.



du stator et du décalage extérieur φ . La concordance des phases entre les différences de potentiel aux bornes du stator et les différences de potentiel aux balais de l'excitation est donc perdue. Si l'on veut la rétablir avant de faire de l'autoexcitation, il faudra alors avancer les balais dans le sens du mouvement d'un angle ψ . A toute charge correspondra, pour la concordance des phases recherchée, soit un angle ψ différent, soit un calage des balais différent.

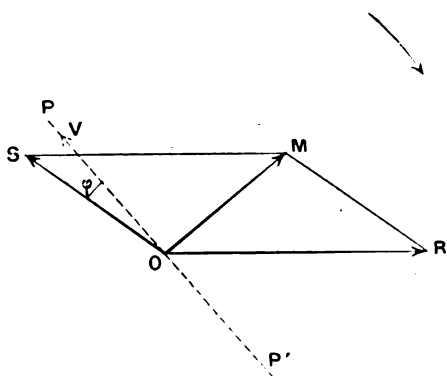
» C'est reconnaître que, dans mon alternateur shunt, l'autoexc:

tation en marche synchrone ne peut être assurée que par un réglage du calage des balais suivant la charge inductive et non inductive du stator, car ψ est essentiellement variable avec ces deux charges. Lorsqu'il se produira une variation brusque de charge inductive ou non inductive, le calage des balais ne conviendra donc plus pour l'autoexcitation en marche synchrone. Comme il est bien entendu, d'autre part, que le débit ne saurait brusquement s'évanouir, nous trouvant dans l'impossibilité d'avoir la marche synchrone du rotor, nous aurons une marche en dehors du synchronisme. On démontre alors que, si le décalage des balais dans le sens du mouvement est insuffisant pour la nouvelle charge considérée, la fréquence des courants débités faiblissant, le rotor travaille *au-dessus* du synchronisme; que, si le décalage des balais est, au contraire, trop important, la fréquence des courants débités croissant, le rotor travaille *au-dessous* du synchronisme.

» Il s'agit là d'un phénomène dont il me paraît difficile de donner une raison *physique*. J'ai déjà publié dans l'*Éclairage électrique* du 12 avril les diagrammes qui en rendent entièrement compte, et je ne puis encore mieux faire aujourd'hui que de me reporter à ces diagrammes et à l'étude détaillée que j'en ai faite. Je présenterai ici cependant la question un peu autrement.

» Considérons le diagramme commun à tous les générateurs (*fig. 2*), dans lequel OR représente la force magnétomotrice du

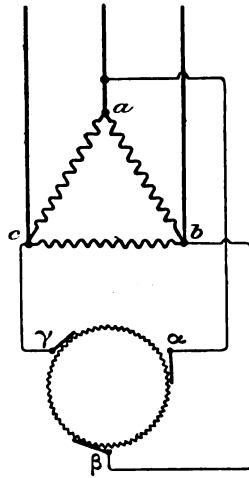
Fig. 2.



rotor, OS celle du stator, φ le décalage extérieur, OM la force magnétomotrice résultante productrice du flux dans la machine.

» Quoi qu'il en soit du fonctionnement en autoexcitation de l'alternateur représenté, un fait bien certain, c'est que la tension entre deux balais quelconques est égale à la tension entre les deux bornes correspondantes du stator et en phase avec elle, puisque bornes et balais sont reliés électriquement. Supposons que le stator soit comme le rotor monté en triangle (*fig. 3*).

Fig. 3.

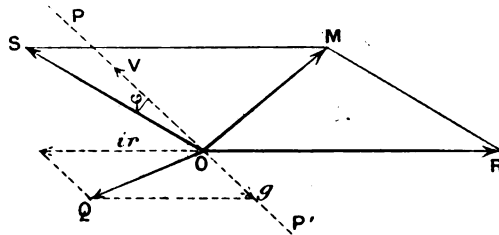


» La tension développée entre deux bornes du stator est uniquement déterminée dans une machine donnée par le vecteur OM ; la phase de cette tension OV peut être représentée par la direction OP .

» Si le rotor marche au synchronisme avec le champ de la machine, on peut dire que la tension développée entre deux balais est égale à la chute ohmique dans l'enroulement et dans les balais *changée de signe*. Mais si le rotor glisse par rapport au champ principal dans un sens ou dans l'autre, il y a, au surplus, une force électromotrice induite entre deux balais dans le rotor même. C'est cette force électromotrice qu'il faut composer avec la chute ohmique dans l'enroulement et les balais *changée de signe*, pour retrouver la tension entre deux balais. La phase de la force électromotrice induite par le glissement sera représentée par la direction OP' si le rotor tourne *au-dessus* du synchronisme, par la direction opposée OP si le rotor tourne *au-dessous* du synchronisme. J'effectue la composition de la chute ohmique *changée de signe* et de cette force élec-

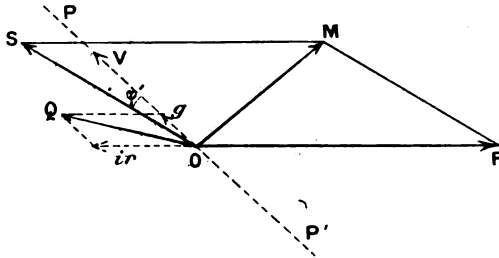
tromotrice dans les diagrammes des figures 4 et 5. On aboutit dans

Fig. 4.



les deux cas au vecteur OQ, qui figure la tension entre deux balais. L'angle POQ représente le décalage des balais par rapport aux

Fig. 5.



bornes correspondantes du stator. En effet, les tensions OQ et OV sont égales et *en phase*, par hypothèse. Nous avons obtenu OV en raisonnant par rapport au stator, nous obtenons OQ en raisonnant par rapport au rotor. Si ces directions ne coïncident pas, cela tient essentiellement à ce que les balais n'ont pas même emplacement sur le rotor que les bornes sur le stator.

» Cette notion du calage des balais est la plus délicate qui soit dans un alternateur shunt et il convient, je crois, d'y réfléchir personnellement pour bien l'apprécier.

» Dans le cas de la marche synchrone du rotor, le prolongement de OQ tombe, dans tous les cas, sur OR : le calage est parfait. Pour la marche au-dessus du synchronisme du rotor, le prolongement de OQ tombe en arrière de OR : le décalage des balais pèche par défaut. Pour la marche au-dessous du synchronisme, le prolongement de OQ tombe en avant de OR : le décalage des balais pèche par excès.

» M. Janet vient de rappeler l'étroite analogie que j'ai plusieurs fois mise en évidence (à un point de vue en quelque sorte philosophique) entre mon alternateur shunt et une dynamo shunt à courant continu. Je reviendrai ici encore sur cette analogie. Mais il est d'abord un point qu'il faut absolument admettre d'une manière définitive : c'est que la commutation sur l'inducteur d'un alternateur shunt, pour un sectionnement normal de dynamo à courant continu, est parfaite au synchronisme, *tant qu'on néglige les influences secondaires des harmoniques du champ*. Je l'ai démontré d'une façon rigoureuse dans mon article de l'*Éclairage électrique* du 26 novembre. On serait aujourd'hui mal venu de contester cette excellence de la commutation au synchronisme, après la magistrale étude de M. Poincaré sur la question.

» J'ai construit une première machine de 20 kilowatts, dont le rotor est un induit de dynamo à 220 volts tétrapolaire. Cet induit possède 53 encoches, 159 lames au collecteur et un enroulement série. L'entrefer de la machine est de 2^{mm}. L'excitation du rotor est faite avec 6 phases par 6 lignes de balais. Chaque ligne de balais doit, à pleine charge, livrer passage à un courant maximum de 80 ampères. A la fréquence 25, qui est un peu supérieure à la fréquence normale de cet induit, la commutation est remarquable. En mettant le double du courant (160 ampères) sur les balais, on ne devine pas encore d'étincelles. Enfin, en tolérant de très petites étincelles, on peut aller jusqu'à 200-240 ampères sur chaque ligne de balais, soit jusqu'au triple du courant de pleine charge. Si, par deux balais en opposition, on introduit du courant continu ou du courant monophasé, les étincelles commencent à apparaître à 10-15 ampères. A 30 ampères, le fonctionnement est déjà intolérable. Ce n'est donc pas le sectionnement qui peut, dans cette machine, justifier une commutation aussi remarquable. La commutation est parfaite, par cette raison seule qu'il n'y a pas, aux harmoniques du champ près, de variation de flux dans les sections en court-circuit. Je ne vois pas pourquoi M. Heyland a voulu contester ce point.

» Si la commutation devenait défectueuse, ce ne pourrait être que par suite de l'influence exagérée des harmoniques du champ. L'étude de ces harmoniques a été faite de la façon la plus complète par M. Leblanc. Ils correspondent, les uns à des champs tournants

de vitesse double, triple, etc. de celle du champ principal, les autres à des champs tournants qui seraient produits dans les enroulements de polarité supérieure sur le stator ou le rotor. Dans tous les cas, après les travaux et remarques de M. Leblanc, l'extinction de ces harmoniques par une cage d'écureuil est aujourd'hui bien connue, et dès l'instant où il est admis que la perfection de la commutation dans un alternateur shunt est subordonnée à une variation nulle du flux qui traverse les sections en court-circuit, l'idée d'introduire un amortisseur Leblanc sur un semblable alternateur pour l'extinction éventuelle des harmoniques viendra à l'esprit de tout électricien. Sans doute, l'amortisseur Leblanc ne serait pas recherché ici pour faciliter le couplage des machines, mais il serait cependant recherché pour un effet technique que M. Leblanc a déjà signalé comme lui étant propre. Peu importe, au fond, la nature de la machine sur laquelle il serait disposé : *toute la question est de savoir si l'effet technique recherché n'est pas un effet technique propre à l'amortisseur et qui ait déjà été signalé*. C'est précisément d'ailleurs parce qu'il ne serait appelé à produire que ce seul effet technique connu (extinction des harmoniques du champ) qu'on pourrait le faire très léger, l'importance des harmoniques étant toujours supposée assez faible.

» Il n'est pas jusqu'aux vibrations produites par un sectionnement insuffisant que M. Leblanc ne se soit déjà appliqué à étouffer par son amortisseur dans les dynamos à courant continu.

» Il est bien entendu qu'on pourra, ici comme partout ailleurs, éviter les harmoniques par des procédés de construction spéciaux (inclinaison des conducteurs sur le rotor, combinaison de deux enroulements sur le rotor, décalés l'un par rapport à l'autre, etc.). Mais il convient de remarquer, et ce point est capital, que l'enroulement d'excitation lui-même joue le rôle d'amortisseur Leblanc. L'influence de cet amortissement ne manquera pas de se faire sentir dans le cas d'une forme particulièrement mauvaise des courants.

» Ainsi donc, la marche synchrone du rotor correspond bien à une commutation parfaite. Je répète ici que le calage des balais établissant la marche synchrone est, à l'alternateur shunt, ce que le calage des balais sur la ligne vraiment neutre est à une dynamo

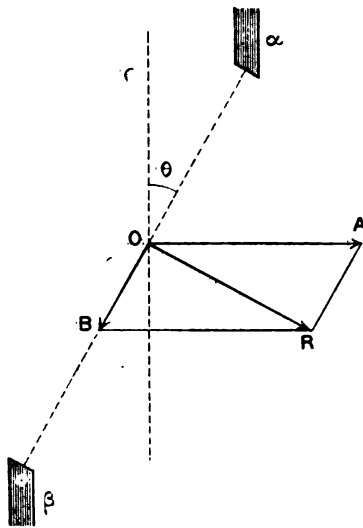
shunt : tous deux assurent une variation de flux nulle dans les sections en court-circuit et permettent une commutation parfaite.

» A cette occasion, il n'est pas inutile de faire remarquer que des études mathématiques récentes sur la commutation ont peut-être eu le tort de faire perdre de vue des notions très exactes qu'avaient à son sujet les premiers électriciens.

» Considérons une dynamo possédant un inducteur annulaire de moteur asynchrone.

» Soit OA (fig. 6) les ampères-tours inducteurs. Les ampères-

Fig. 6.



tours induits ayant la direction OB, le flux résultant prend la direction OR. On aura une bonne commutation si l'angle BOR est droit, c'est-à-dire si les sections sont mises en court-circuit dans une région vraiment neutre. Dans ces conditions, l'angle de calage des balais θ est tel que $\tan \theta = \frac{L\omega}{R}$, L étant le coefficient de self-induction de l'induit, ω sa vitesse angulaire, R la résistance sur laquelle il se trouve fermé. On a déjà tenu compte de la self-induction des sections mises en court-circuit en parlant des ampères-tours OB.

» L'analogie entre une dynamo shunt avec inducteur annulaire et mon alternateur shunt se manifeste de la façon suivante :

» *Marche à vide.* — Dans une dynamo shunt, les balais sont calés à 90° du flux inducteur.

» Dans mon alternateur shunt, le calage des balais adopté établit la marche synchrone. Dans l'un et l'autre cas, pas de variation de flux dans les sections en court-circuit.

» *Marche en charge.* — Dans une dynamo shunt, si on laisse les balais à leur calage pour la marche à vide, la commutation devient pénible, mais, aux influences secondaires des variations de réluctance des circuits magnétiques près, il n'y a pas de chute de tension en charge.

» Dans un alternateur shunt, le synchronisme est, avec la mise en charge, automatiquement perdu : la commutation devient donc plus pénible, mais il n'y a pas, grâce au glissement qui s'établit, de réaction d'induit proprement dite.

» Si, dans une dynamo avec inducteur annulaire, on déplace, en charge, les balais dans le sens du mouvement de façon à les caler dans la nouvelle région neutre, une chute de tension se manifeste aussitôt, mais la commutation redevient meilleure.

» Si, dans un alternateur shunt, on déplace les balais dans le sens du mouvement de façon à rétablir la marche synchrone, une chute de tension se manifeste, mais tout trouble dans la commutation disparaît.

» En réalité, l'alternateur shunt se trouve dans des conditions plus avantageuses, au point de vue de la commutation, qu'une dynamo shunt, et l'expérience m'a montré qu'un simple glissement était toujours admissible. Il en résulte que, pratiquement, on se soustrait à ce réglage que je croyais nécessaire par analogie avec ce qui doit se faire dans une dynamo shunt à courant continu.

» Personnellement, je cale les balais de façon que la marche synchrone soit établie en charge. C'est un peu ce qu'on fait dans une dynamo shunt à courant continu, lorsqu'on cale uniformément les balais au delà de la ligne perpendiculaire à la ligne des pôles.

» Dans tous les cas, il doit rester entendu qu'il n'y a qu'un seul alternateur shunt, et je tiens à remercier M. Boucherot de l'avoir affirmé ce soir après M. Picou. Je ne cacherai pas, d'ailleurs, que tel

m'a paru être le sentiment de tous les électriciens éminents que j'ai consultés.

» Si l'on ne touche pas aux balais de mon alternateur shunt, le rotor étant supposé entraîné à vitesse constante, l'alternateur débite des courants de fréquence variable avec la charge.

» Avec le calage uniforme que j'adopte pour les balais, mon alternateur travaille au synchronisme pour la pleine charge; avec le calage adopté par M. Heyland, *le même alternateur* travaille au synchronisme pour la marche à vide, *ainsi que M. Heyland lui-même l'a expliqué dans ses publications.*

» Dans le fonctionnement en moteur, je cale toujours les balais pour la marche en charge, de telle façon que je marche un peu au-dessus du synchronisme pour la marche à vide. M. Heyland marche au synchronisme à vide, au-dessous du synchronisme en charge. Mais c'est bien toujours du même moteur qu'il s'agit. *Il suffira que M. Heyland renforce son excitation pour dépasser le synchronisme,* il suffira que je diminue mon excitation pour tomber au-dessous du synchronisme.

» Un alternateur shunt a le gros inconvénient de nécessiter, ou bien un calage variable des balais, ou bien un entraînement à vitesse variable, pour débiter des courants de fréquence constante. C'est la raison pour laquelle il est urgent de le compounder.

» Le compoundage rationnel d'une dynamo shunt avec inducteur annulaire se fait exactement par un enroulement compensateur de Ryan. Dans ces conditions, la dynamo shunt devient compound et à calage invariable des balais. Un transformateur compoundeur, contrairement aux affirmations de M. Heyland, permet d'en faire autant pour l'alternateur shunt. Cet alternateur devient alors à calage invariable des balais et théoriquement synchrone à toute charge. C'est le compoundage le plus simple que l'on puisse effectuer.

» On peut, dans mes alternateurs, employer des shunts entre lames en vue d'éviter les étincelles, particulièrement dans le cas d'un sectionnement réduit, comme on l'a déjà fait dans les collecteurs simples des alternateurs de la *General Electric*. Ces shunts, étant mis en parallèle avec un enroulement d'excitation, n'entraîneront que des pertes négligeables, ainsi que la remarque en a été faite par la *General Electric*.

» Mais je tiens à faire remarquer :

» 1° Que ces shunts ont, en fait, pour unique effet technique d'éviter les étincelles comme les shunts des collecteurs simples;

» 2° Que tout autre effet technique, existât-il d'ailleurs, serait accessoire et rigoureusement dépourvu d'intérêt industriel.

» Marchant au synchronisme, ces shunts n'auraient sûrement pas d'autre effet technique que d'éviter éventuellement les étincelles. Or, personnellement, je marche au synchronisme.

» Le courant qui passe dans ces shunts est exactement $\frac{V}{R}$, V étant la différence de potentiel entre balais, R la résistance totale des shunts compris entre deux balais.

» Au-dessous du synchronisme et en moteur, je dis que le courant des shunts est très approximativement donné par la même loi d'Ohm et que les shunts ne sont pas, en somme, utilement intéressés à ce qui se passe dans le rotor. Je suis heureux de voir aujourd'hui M. Boucherot appuyer cette affirmation.

» Le courant qui passe dans les shunts est du courant en phase avec les courants de magnétisation et non pas avec les courants wattés du rotor. On ne voit pas bien comment il pourrait en être autrement. A cette façon de voir, M. Heyland nous oppose les résultats de ses essais. Mais il convient ici d'être plus particulièrement circonspect.

» Considérons le fonctionnement à pleine charge d'un moteur construit par M. Heyland. Avec un entrefer un peu plus grand, des flux de fuite plus importants que de coutume, le $\cos \varphi$ d'un semblable moteur fonctionnant en moteur d'induction ordinaire serait mauvais et égal à 0,7, peut-être à 0,6. Supposons que les shunts, entre lames, aient une résistance égale à celle des sections du rotor, M. Heyland prétend n'envoyer dans le rotor, par l'intermédiaire des balais, que le courant magnétisant, soit $\sin \varphi$. Il passerait donc, d'après M. Heyland, avec des shunts de résistance égale à celle des sections, $2 \sin \varphi$ seulement par les balais. D'après ma façon de voir, il passerait, au contraire, approximativement

$$\sqrt{2 \sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi}.$$

Avec $\cos \varphi = 0,7$, la différence de ces deux expressions est faible.

La deuxième est de 10 pour 100 plus grande seulement. Remarquons ici qu'il est très important de noter avec précision aux environs de l'unité la valeur du facteur de puissance du moteur et le *signe* du déphasage.

» Ainsi

$$\begin{array}{lll} \cos \varphi = 0,98 & \text{avec } \varphi \text{ négatif donne} & \sin \varphi = -0,14, \\ \cos \varphi = 0,98 & \text{avec } \varphi \text{ positif donne} & \sin \varphi = +0,14. \end{array}$$

» Les deux fonctionnements se distingueraient par une différence de 28 pour 100 de courant magnétisant dans le rotor, soit de 60 pour 100 sur les balais.

» On se rend bien compte qu'une simple différence de 10 pour 100 peut ne pas se mettre facilement en évidence. Il est d'ailleurs impossible de tirer des conclusions quelconques tant que les diverses données de construction d'un moteur ne sont pas connues.

» Quoi qu'il en soit, *et il convient de bien insister sur ce point*, le fonctionnement du rotor aurait-il un retentissement quelconque sur ce qui se passe dans les shunts, dans la marche au-dessous du synchronisme adoptée par M. Heyland, que l'on ne pourrait voir dans ce fait qu'une circonstance accessoire rigoureusement sans intérêt, une complication inutile et gratuite dans le fonctionnement de la machine. L'essentiel est d'avoir un moteur à $\cos \varphi = 1$ à toute charge. *Il ne sied pas de perdre de vue ce point capital.* Or, un moteur sans shunts entre lames jouit déjà de cette propriété et travaille d'ailleurs sans étincelles. Il peut être intéressant, sans doute, dans le cas d'un faible sectionnement, de prévenir les étincelles possibles avec les shunts entre lames ; mais tous les phénomènes complexes et mal définis qui pourraient être introduits ultérieurement par ces shunts, *lorsqu'on marcherait au-dessous du synchronisme* comme M. Heyland, ne sauraient avoir aucune signification industrielle, aucune valeur pratique.

» Ils n'auraient même pas l'avantage de réduire le courant sous les balais, puisqu'on fournirait $2 \sin \varphi$ au lieu de 1 et que l'on aura généralement $2 \sin \varphi > 1$.

» J'ai montré plus haut que l'utilisation d'une légère cage d'écureuil pour étouffer les champs harmoniques revenait exactement à l'emploi d'un amortisseur Leblanc.

» On peut cependant utiliser la cage d'écureuil à un autre point de vue et la faire servir à la marche asynchrone. Cette cage pourrait alors donner passage, dans la marche au-dessous du synchronisme, aux courants qui annulent les ampères-tours du stator, tandis que l'enroulement avec collecteur donnerait passage aux courants de magnétisation. Mais il est facile de voir que la dépense de cuivre sur le rotor serait de cette façon plus considérable. Le poids de cuivre de la cage correspondrait à $\cos \varphi$, celui de l'enroulement avec collecteur à $\sin \varphi$, de telle sorte que le poids de cuivre total serait égal à $\sin \varphi + \cos \varphi$ par rapport au poids de cuivre qu'il faudrait dépenser avec un seul enroulement. Avec $\sin \varphi = \cos \varphi = 0,7$ la dépense de cuivre ainsi que l'échauffement seraient de 40 pour 100 plus élevés.

» Il s'agit donc là de nouveau d'une complication sans intérêt qui serait apportée dans la machine.

» En résumé, et c'est un point très délicat sur lequel je tiens à insister : les shunts et la cage d'écureuil doivent être envisagés à un double point de vue :

» 1^o Comme dispositif accessoire pour éviter les étincelles; ils sont à ce titre dans l'arsenal commun, et il s'agit d'une addition que tout homme du métier n'aurait pas manqué de songer à apporter éventuellement dans la construction de l'inducteur d'un alternateur shunt;

» 2^o Comme dispositif tendant peut-être à compliquer le fonctionnement de la machine. *A ce titre ils sont rigoureusement sans intérêt et ils ne méritent pas d'être pris en considération.*

» En terminant, je m'en rapporterai à ce que vient de dire M. Boucherot, à savoir que, au point de vue doctrinaire, il ne peut y avoir qu'une seule et unique machine. »

M. KORDA. — « M. Latour a dit que le moteur Heyland peut être amené au-dessus du synchronisme, si l'on augmente suffisamment la tension d'excitation, et il se sert de cet argument pour démontrer qu'il n'y aurait aucune différence entre son moteur et le moteur Heyland.

» Il n'est pas juste d'envisager la question ainsi. En réalité, il y a deux effets dans le moteur Heyland : celui de l'excitation et celui de

l'induction dans la cage d'écureuil. Il n'est pas étonnant qu'en exagérant l'excitation par l'augmentation de la tension de l'excitation on efface, ou plutôt on couvre petit à petit l'autre effet, celui de l'induction mutuelle. Un exemple rendra encore plus clair, par l'analogie, le point faible de l'argument invoqué par M. Latour. Un moteur polyphasé synchrone excité ne démarre pas, même à vide, tandis qu'en diminuant suffisamment l'excitation, ou en la supprimant complètement, les courants de Foucault induits, dans les pièces polaires, par le champ tournant de l'induit, arrivent à faire démarrer le moteur à vide. C'est même le procédé de démarrage habituel lors de l'essai des pertes à vide des alternateurs polyphasés.

» En effet, en atténuant l'influence de l'excitation, l'effet Foucault n'est plus contre-balancé; il peut se faire valoir, mais il serait évidemment erroné d'en conclure que, en général, les moteurs synchrones démarrent.

» Dans le moteur Heyland de même, c'est l'effet Foucault qui est prépondérant, ce qui le rend, du reste, pareil, au point de vue du glissement, aux moteurs asynchrones ordinaires; mais, si l'on exagère l'excitation au point que l'effet Foucault, loin d'être prépondérant, soit complètement dépassé, on pourra s'approcher du synchronisme et aller même au delà. Seulement, il serait tout aussi erroné d'en conclure que les deux systèmes sont identiques, pas plus que ne le sont les machines asynchrones qui démarrent et les machines synchrones qui ne démarrent à vide que lorsqu'on supprime leur excitation. »

M. JEAN REY. — « Après la discussion intéressante entre MM. Heyland et Latour sur la valeur respective de leurs systèmes, le public ou plutôt la clientèle n'en restera pas moins embarrassée dans le choix à faire.

» Les moteurs Heyland et Latour se ressemblent quant à leurs éléments principaux, et il est probable que leurs qualités, comme leurs défauts, sont sensiblement les mêmes.

» Si l'on se place au point de vue des acheteurs de matériel électrique, on peut se demander si le retour au moteur à collecteur, pour le courant triphasé, ne rencontrera pas bien des répugnances, la plupart des électriciens ayant prôné, depuis 10 ans, l'emploi du

moteur triphasé, précisément à cause de l'absence de collecteur et de balais.

» L'avantage du nouveau moteur, d'avoir un facteur de puissance égal à l'unité, ne semble pas suffisant pour être mis en balance avec les propriétés que possède le moteur à courant continu : facilités de démarrage et de stoppage, couple pratiquement illimité, variation du couple proportionnel à la première puissance du voltage seulement, tandis qu'avec le moteur triphasé la variation est proportionnelle au carré du voltage, grand entrefer, possibilité de faire varier la vitesse par le champ dans de grandes limites, etc.

» Au point de vue des étincelles, je désirerais connaître combien les spires additionnelles que M. Heyland place entre les touches du collecteur présentent de résistance vis-à-vis de l'enroulement du rotor.

» Je voudrais savoir également comment M. Latour maintient la vitesse au synchronisme, sans faire de réglage de l'excitation, l'excitation n'étant l'objet d'aucun réglage dans le moteur de M. Heyland, dont la vitesse ne reste pas synchrone. »

M. HEYLAND. — « Le moteur qui a été envisagé par M. Boucherot me semble être un cas spécial du moteur Gœrges. M. Gœrges a indiqué des moteurs à collecteur, auxquels on amène le courant triphasé au moyen de trois balais. Le stator et le rotor de ces moteurs sont montés en série ou en parallèle. Montons-les en parallèle et fixons les balais de façon que les axes magnétiques coïncident; on démontre facilement que le glissement est représenté par le rapport des spires du stator à celles du rotor. Soient N le champ commun du stator et du rotor, n' le nombre de spires du stator, n'' le nombre de spires du rotor, ω' la vitesse angulaire du champ au stator, ω'' celle du champ au rotor (donc $\omega'' : \omega' =$ le glissement), et enfin C une constante définie par les dimensions du moteur. Alors la force électromotrice induite dans le stator $e' = C \times N \times \omega' \times n'$, la force électromotrice induite dans le rotor $e'' = C \times N \times \omega'' \times n''$. Les deux systèmes étant mis en parallèle, on aura $e' = e''$, et par conséquent le glissement devient $\omega'' : \omega' = n' : n''$. Suivant le choix que l'on fait de ce rapport, un moteur donné tournera asynchrone avec un glissement dans des limites plus ou moins

grandes. Faisons le nombre de spires du rotor assez grand : il est évident que le glissement diminue dans le rapport inverse du nombre de spires et que le moteur tourne aussi près du synchronisme que l'on veut.

» Quant à l'emploi des moteurs à $\cos \varphi = 1$, je me range absolument à l'avis de M. Boucherot, qui dit que l'arrangement décrit par moi n'est pas recommandable pour un petit moteur dont le $\cos \varphi$ serait déjà très élevé, et je me réfère entièrement à ma conférence où j'ai développé tous les cas pour lesquels cet arrangement trouverait son application rationnelle.

» La différence de mes machines par rapport à celles de M. Latour ne donne plus lieu à aucune discussion. Elle est sanctionnée par des résultats qui se trouvent en contradiction directe avec les conclusions de M. Latour. Vous voyez ici les courbes relevées sur des machines. Les résultats démontrent ce qui a été contesté jusqu'à présent, savoir que mes machines fonctionnent comme des machines d'induction asynchrones à cage d'écureuil. Le collecteur n'est qu'un accessoire servant essentiellement à l'introduction dans le rotor de la composante magnétisante du courant. Tout le reste se passe exactement comme dans les moteurs d'induction ordinaires. Je me réfère entièrement à ma lettre à l'*Industrie électrique* du 10 juin. Les courbes de la figure 10 correspondent à un moteur dont le rotor est enroulé en triphasé (couplage en étoile) et n'a, par conséquent, pas même de ressemblance extérieure avec les moteurs de MM. Latour et Gœrges. Les courbes figure 11 correspondent à un moteur dont le rotor, qui était enroulé comme un induit à courant continu, a été transformé en une cage d'écureuil par le fait que les lames du collecteur ont été réunies entre elles par des connexions, ces dernières faisant office de bague de court-circuit. Dans ce moteur, les courants d'induction se ferment entièrement dans les connecteurs, et le courant des balais reste constant, diminue même un peu avec la charge.

» En réponse à la demande de M. Rey, je ferai remarquer que la résistance des connexions est à peu près la même que celle du bobinage, c'est-à-dire qu'elle est très faible, et il est plus juste de les désigner comme connecteurs que comme résistances. D'après les déductions que j'ai exposées dans ma conférence, l'effet est le même

que celui que l'on obtiendrait en prenant un induit en court-circuit ordinaire, sur lequel serait placé en outre un autre enroulement faible communiquant avec le commutateur et qui servirait à l'introduction dans le rotor de la composante magnétisante du courant. En effet, les balais ont été fixés pour la marche à vide de telle façon que le courant déwatté à vide était nul. On a alors chargé le moteur et, comme vous voyez, ce courant de compensation amené aux balais reste constant. Il diminue même avec la charge. Si ces connexions ne remplissaient pas la fonction de l'anneau de court-circuit et ne permettaient pas au moteur de fonctionner comme un moteur d'induction ordinaire, il est évident que le courant des balais devrait augmenter avec la charge. Il serait facile de démontrer, en se basant sur les dimensions du moteur, que ce courant devrait augmenter environ du double de sa valeur; au lieu de cela il diminue, en contradiction avec les conclusions de tous les ingénieurs qui ont confondu les moteurs de Latour avec les miens, mais en confirmation inéluctable de mes théories.

» L'analogie mécanique représentée par la figure 1a définit complètement la différence caractéristique, et, s'il existe des ressemblances superficielles dans l'aspect extérieur des moteurs avec bobinage à courant continu, cela ne signifie rien, puisque la ressemblance du moteur de Gœrges (qui est beaucoup plus ancien) et de celui de M. Latour est bien plus prononcée que celle existant entre le mien et celui de M. Latour. Du reste, à mon avis, les déductions faites au commencement de cette discussion montrent que le moteur synchrone de M. Latour n'est qu'un cas particulier du moteur Gœrges.

» En ce qui concerne les machines de M. Latour, je pense qu'il pourra arriver à construire de bonnes machines d'après son point de vue et sans avoir à craindre la formation d'étincelles aux balais, mais seulement s'il se conforme aux principes généralement admis dans la construction des machines modernes à courant continu. On sait que, de nos jours, on construit des machines à courant continu dans lesquelles l'influence de la zone neutre ne joue qu'un rôle très secondaire. Ces machines travaillent de la façon la plus parfaite, sans décalage des balais et sans étincelles, pour toutes les tensions entre zéro et la pleine tension. Cette propriété est due exclu-

sivement au fait que l'on maintient la tension de réactance de chaque bobine entre deux lames du collecteur au-dessous d'une certaine limite. La périodicité du champ ne joue plus aucun rôle important. Le même cas se présente dans la machine de M. Latour, et il n'aura pas d'étincelles à craindre s'il ne dépasse pas la valeur généralement en usage pour la réactance. Il arrivera à un nombre de lames assez élevé, principalement pour des machines à 50 périodes, ce qui compliquerait la construction; sa machine marchera, naturellement, d'une façon différente de la mienne, mais il n'aura pas besoin d'adapter une cage d'écureuil. Surtout, je pense que la machine de M. Latour, s'il ne règle pas chaque fois la position de ses balais, aura une marche très asynchrone. Il compte maintenant, pour la marche à vide, sur un glissement négatif, mais ce glissement sera plus grand qu'il ne le pense. Dans ses déductions, il ne tient pas compte de l'effet de la self-induction produite dans le circuit des spires en commutation, lequel est assez grand comparativement à la faible force électromotrice induite dans le rotor.

» En ce qui concerne la cage d'écureuil, il ne faut pas la confondre avec l'amortisseur de M. Leblanc; j'ai déjà exposé suffisamment le but de la cage d'écureuil dans mes machines. L'amortisseur de M. Leblanc sert exclusivement pour des machines dont le champ est de direction constante, d'après la définition même de M. Leblanc, c'est-à-dire pour des machines *synchrones*.

Le nouveau principe de mes machines consiste dans la combinaison d'une cage d'écureuil avec un commutateur, dans le but d'introduire la composante magnétisante dans le rotor au lieu de l'introduire dans le stator. »

M. HOSPITALIER. — « Le moteur compensé de M. Heyland fonctionne avec un $\cos \varphi$ voisin de l'unité à toutes les charges, et cela présente un certain intérêt pour les usines centrales; mais, au point de vue de l'abonné, nous voudrions savoir si l'amélioration du facteur de puissance correspond à un meilleur rendement que celui d'un moteur asynchrone ordinaire de même puissance, bien établi: En d'autres termes, nous voudrions savoir si l'amélioration, indiscutable pour le vendeur d'énergie électrique, l'est aussi pour le consommateur. »

M. HEYLAND. — « Je répondrai à M. Hospitalier que les courbes de rendement comparatives (*fig. 9*) se rapportent au même moteur sans aucun changement. Pour l'une, le courant de compensation était interrompu de façon à faire marcher le moteur comme moteur ordinaire. Pour l'autre, le courant de compensation était mis en action. Elles ne doivent démontrer que l'effet de la compensation. Pour les faibles charges, les pertes de l'excitation produisent une diminution du rendement; mais, par contre et par suite de l'excitation du champ dans le rotor et de l'augmentation du champ résultant, elles ont comme conséquence que le moteur devient capable d'une plus forte surcharge et que le rendement augmente pour des charges plus grandes. En variant un peu les dimensions du cuivre, on peut donc employer le même moteur pour une puissance plus grande, en admettant le même échauffement.

» La courbe de rendement sans compensation, c'est-à-dire celle où le circuit de compensation est interrompu, est à peu près la même que celle d'un moteur ordinaire. Il est vrai qu'en comparaison avec un moteur ordinaire, les pertes dans les connexions entre les lames viennent s'ajouter aux pertes dans le bobinage du rotor; mais, d'autre part, j'ai montré (*fig. 7*) comment, par l'agrandissement des rainures, les pertes dans le bobinage sont diminuées et que, par conséquent, les pertes totales dans le rotor restent à peu près les mêmes. En effet, la grandeur du glissement dans les moteurs compensés est la même que celle des moteurs ordinaires, c'est-à-dire 4 à 5 pour 100 pour les petits et 2 pour 100 pour les grands. »

M. le PRÉSIDENT adresse ses remerciements aux personnes qui ont pris part à cette discussion.

La séance est levée à 11^h30^m du soir.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 9 juillet 1902 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. E. DESROZIERS, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8^h40^m du soir et le procès-verbal de la Réunion supplémentaire du 18 juin adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts (p. 632) et des demandes d'admission suivantes :

MM.

Bunet (Paul), Ingénieur aux Établissements Postel-Vinay, 9, villa Poirier, à Paris. — Présenté par MM. Postel-Vinay et Rechniewski.

Guthier (Paul-Ferdinand), Sous-Inspecteur du Service électrique des chemins de fer de l'Ouest, 44, rue de Rome, à Paris. — Présenté par MM. Sabouret et Mazen.

Justo (Guisasola y Vigil), Ingénieur de la Compagnie des forces hydro-électriques de Saint-Ildefonso, à Mexico (Mexique). — Présenté par MM. Guillon et Louvrier.

Paumier (Georges), Ingénieur électricien, Maison Breguet, 26, rue Gambetta, à Douai (Nord). — Présenté par MM. Fayot et Brunswick.

Sanchez-Cuervo (Luis), Ingénieur espagnol des Ponts et Chaussées, Ingénieur de la Compagnie Ibérique Thomson-Houston, Carrera de S. Jerónimo, 43, à Madrid (Espagne). — Présenté par MM. Gratzmuller et Guillon.

Turpain, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Poitiers, 4, rue Vauvert, à Poitiers (Vienne). — Présenté par MM. Blondel et Blondin.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT fait part du décès de M. SOLIGNAC, qui aux débuts des progrès de l'Électricité a pris une part importante à ses applications; il exprime les regrets de la Société.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

⁽¹⁾ La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

L'ÉCLAT INTRINSÈQUE DES GROS ARCS A COURANT CONTINU.

(EXPOSÉ DES TRAVAUX DE MM. A. BLONDEL ET J. REY.)

M. REY. — « L'étude de l'éclat des arcs à courant continu a fait l'objet de nombreux travaux dus à des savants ou à des spécialistes. On s'est toutefois borné, dans la plupart des cas, aux arcs de faible intensité ne dépassant pas 20 ou 25 ampères, les seuls employés dans l'éclairage usuel.

» Parmi les travaux les plus récents, rappelons les Mémoires de M. Blondel, parus en 1897 dans *l'Éclairage électrique*; ceux de M^{me} Ayrton exposés au Congrès international de 1900, enfin les intéressantes recherches de M. Laporte exposées à la Société, l'année dernière, par M. Janet.

» Dès que l'on dépasse 25 ampères on entre dans la catégorie de ce que nous appelons les *gros arcs*, utilisés jusqu'ici seulement pour les projecteurs et les phares électriques.

» En dehors des nôtres, nous n'avons trouvé que fort peu de travaux sur les gros arcs.

» M. Lemonnier, en France, fut l'un des premiers ou le premier à se préoccuper de cette question; les premières mesures relevées par lui datent de 1878. En Angleterre, Abney fit connaître une série de résultats obtenus pendant l'année 1881. Beaucoup plus tard, M. Violle a indiqué sa méthode photographique pour des arcs allant jusqu'à plus de 1000 ampères, placés en vase clos; nous en parlerons plus loin.

» Dès l'année 1894, nous avons entrepris, M. Blondel et moi, aux ateliers Sautter, Harlé et C^{ie}, une série de recherches méthodiques basées sur l'emploi de deux méthodes dues à notre collègue, et qui permettent de mesurer, dans des conditions assez exactes, l'éclat intrinsèque du cratère du charbon positif, c'est-à-dire de la véritable source lumineuse de l'arc électrique.

» On sait que la lumière de l'arc provient, en réalité, de quatre sources différentes : le cratère du positif, la pointe du négatif, l'arc lui-même, c'est-à-dire la vapeur de carbone, enfin les parties rouges des charbons.

» De ces quatre sources, la première est de beaucoup prépondérante : elle fournit à elle seule près de 95 pour 100 du flux lumineux ; la seconde peut représenter 4 pour 100, et les deux dernières à peine 1 pour 100.

» Nos méthodes de mesure éliminent l'influence du charbon négatif et des parties rouges : quant à la vapeur, nous n'en avons pas tenu compte, sa valeur photométrique étant négligeable à côté des erreurs d'observation.

» *Difficulté des mesures.* — Les mesures de l'éclat des gros arcs, d'une intensité variant de 25 à 300 ampères, présentent des difficultés nombreuses. Il est d'abord nécessaire de disposer d'un courant constant et, par suite, d'une excellente génératrice, bien compoundée et tournant à vitesse constante. Le voltage de la source doit être assez élevé pour que l'on puisse perdre de 30 à 40 volts dans le rhéostat ; on obtient ainsi une forte stabilité. La lampe doit régler d'une manière sûre et maintenir l'écart moyen qui a été reconnu le plus convenable. Dans nos expériences, nous avons employé, le plus souvent, une lampe horizontale automatique du type Sautter, Harlé et C^{ie} pour projecteurs. Nous nous sommes également servis de lampes à charbons inclinés des mêmes constructeurs. La qualité des charbons est, naturellement, de première importance. Avec les forts diamètres que nécessitent les gros courants, la fabrication de bons charbons, à grain homogène, ni trop durs, ni trop tendres, ne se creusant pas au positif en forme d'alvéole, ne donnant pas de champignons au négatif, n'ayant pas de fissures dans la masse, présente des difficultés toutes spéciales.

» Nous avons employé, dans nos essais, des charbons de trois provenances : ceux de la Société française fabriqués à Nanterre, ceux des frères Siemens à Charlottenbourg, et la marque Conradty à Nuremberg. Suivant les provenances et suivant les années, les résultats ont été différents. Parfois, dans le même lot, certains charbons étaient irréprochables et d'autres ne permettaient pas d'obtenir un arc régulier. Nous devons dire qu'il s'agissait de charbon d'un diamètre allant jusqu'à 49^{mm} pour le positif, cette dimension ayant permis de pousser l'intensité jusqu'à 300 ampères.

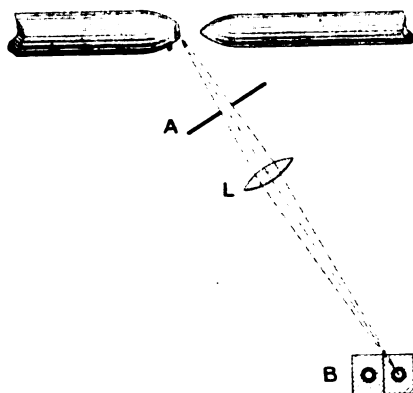
» D'autre part, lorsqu'un gros arc est bien établi, les phéno-

mènes accessoires, tels que le mouvement de l'air, les vibrations, la forme elle-même du cratère, ont moins d'influence que pour les petits arcs. Le voltage aux bornes de la lampe ne fait varier l'éclat intrinsèque que dans de faibles proportions. Toutes nos mesures ont été faites avec des voltages variant de 46 à 62 volts, suivant l'intensité, chaque voltage étant choisi pour obtenir la marche la plus stable, correspondant sensiblement à la valeur maxima du flux lumineux total pour une densité donnée.

» *Méthodes de mesure.* — Nous avons employé deux méthodes de mesure, l'une directe, l'autre indirecte.

» La quantité physique à mesurer est l'éclat intrinsèque du cratère. Nous l'évaluons en pyrs par millimètre carré de la surface éclairante. Le pyr est un nom plus scientifique et plus court proposé par M. Blondel, pour la bougie décimale dont il conserve la valeur photométrique. La figure 1 indique schématiquement l'emploi de la

Fig. 1.



méthode directe. Au lieu de mesurer l'éclat intrinsèque par l'intensité lumineuse totale, nous mesurons l'éclat en projetant la surface incandescente de façon à en isoler une portion dont la dimension est parfaitement définie. Une lampe horizontale ou inclinée est placée de manière que les rayons du cratère puissent tomber sur une lentille L. En avant de cette lentille se trouve un diaphragme A d'une ouverture connue. La lentille projette un faisceau lumineux, produit par la portion visible du cratère, sur un écran B placé au foyer conjugué.

Une fois l'image obtenue, on remplace l'écran par le photomètre. On mesure alors au photomètre l'éclairement obtenu E , ainsi que la distance l de l'image à la lentille. Si l'on appelle e l'éclat intrinsèque du cratère, λ le coefficient de transmission de la lentille (rendement de la lentille), S la surface d'ouverture du diaphragme, on a l'expression

$$E = \frac{\lambda e S}{l^2},$$

d'où l'on tire

$$e = \frac{E l^2}{\lambda S}.$$

» Le coefficient de transmission de la lentille est donné par l'expérience, en mesurant l'absorption qu'elle fait subir à un flux lumineux déterminé. En moyenne, les lentilles employées absorbent 9 à 10 pour 100 du flux qu'elles reçoivent, d'où

$$\lambda = 0,91 \text{ à } 0,90.$$

» L'ouverture du diaphragme a varié, suivant les cas, de 2^{mm} à 5^{mm}.

» La démonstration de la formule précédente (donnée antérieurement par M. Blondel dans sa *Théorie des projecteurs*, et dans un Mémoire publié par l'Association française pour l'avancement des Sciences) part de la loi de Lambert, applicable au rayonnement des corps noirs, tels que le carbone, et s'appuie sur la théorie des faisceaux réfractés ou réfléchis par une surface optique. Nous nous contenterons ici de rappeler que la loi de Lambert exprime le fait que l'intensité lumineuse d'une surface incandescente, dans une direction faisant un angle donné avec la normale à la surface, est égale au produit de l'éclat intrinsèque par la projection de la surface sur un plan perpendiculaire à la direction considérée. Ladite projection est, en réalité, la surface apparente de l'élément lumineux.

» Dans la deuxième méthode, ou méthode indirecte, on place en B un écran constitué par un corps diffuseur, tel qu'une plaque en porcelaine blanche, du papier à dessin ou du papier buvard. Sur cet écran, on limite la portion éclairée, formant l'image de l'arc, par une ouverture circulaire un peu plus petite que l'image et d'un diamètre connu. On éclaire un photomètre par le cercle brillant ainsi isolé, comme s'il s'agissait d'une source lumineuse directe. Si

l'éclat du cratère vient à varier, l'éclairement de l'écran variera proportionnellement et pourra servir à le mesurer, soit en valeur conventionnelle, soit en valeur absolue, pourvu que l'on connaisse d'une manière absolue l'un des points de la courbe. Cette méthode diffère de la précédente en ce qu'elle donne l'éclat moyen du cratère, tandis que la première donne l'éclat de la seule portion du cratère projetée sur l'écran du photomètre. Il était donc intéressant de les employer toutes deux concurremment. En fait, la seconde nous a servi de contrôle pour la première en éliminant les effets d'inégale température à la surface du cratère.

» Comme étalon lumineux, après avoir essayé successivement la lampe Carcel, le Hefner, une flamme de gaz, un manchon Auer, la lumière oxhydrique, l'acétylène, nous nous sommes arrêtés à la lampe à pétrole, à mèche cylindrique, du type de l'Administration française des phares (diamètre de la mèche 0^m,3), dont l'intensité, dans le plan horizontal moyen, est de 20 à 23 pyrs. Nous avons constaté que cet étalon est facile à régler et se maintient pendant 1 heure sans variations importantes. Nous l'avons pris dans nos calculs comme unité de 20 pyrs. Une remarque générale, qu'il convient de faire sur les gros arcs, est que l'intensité photométrique subit des variations fréquentes pouvant atteindre 10 et 20 pour 100, tout à fait inappréciables à la vision directe, même en armant les yeux d'un verre de couleur, comme les verres teintés à l'urane. Un arc de 150 ampères, par exemple, dont la stabilité est parfaite, le fonctionnement régulier, et qui semble donner un éclairage constant, indique au photomètre des variations continuelles, à des intervalles de 20 à 50 secondes. Il est donc indispensable de multiplier les lectures et de faire des moyennes. Nous pourrions dire que l'art de photométrer les arcs de grande intensité revient à celui de faire des moyennes exactes.

» La différence de teinte, entre la lumière de l'arc et celle d'un étalon au pétrole, est bien connue. On a beaucoup discuté sur la méthode à employer pour la photométrie hétérochrome dans le but de corriger l'erreur due à la différence des teintes. La pratique nous a démontré que la plupart des procédés préconisés dans ce but ne donnaient pas des résultats plus précis que l'emploi direct de l'œil, dans un simple photomètre à tache ou dans un photomètre Foucault

à simple fenêtre. Il importe de se souvenir que la lumière à arc est faite pour éclairer les objets visibles à l'œil, et que c'est notre organe visuel, avec ses défauts et ses imperfections, qui reste en fin de compte le juge suprême. C'est l'effet de la lumière sur l'œil, et non point sur un appareil de physique, qu'il importe de mesurer.

» *Description des mesures.* — Les mesures que nous avons effectuées ont été commencées en 1894 et poursuivies en 1897, 1899 et 1901. Les dernières, les plus précises, ont été recueillies avec beaucoup de soin par M. Jigouzo, ingénieur civil des Mines, dans le laboratoire d'essais de MM. Sautter, Harlé et C^{ie}. Nous avons essayé des charbons positifs dont le diamètre a varié de 15^{mm} à 49^{mm}, et des négatifs de 10^{mm} à 35^{mm}. Les intensités ont varié de 25 jusqu'à 300 ampères.

» Pour un même charbon positif, la variation du diamètre du négatif, qui affecte notablement la valeur du flux lumineux total, n'influe que faiblement sur l'éclat intrinsèque. Le négatif ne joue que le rôle d'écran plus ou moins large pour masquer le cratère. Comme notre méthode d'observation ne s'applique qu'à une portion déterminée du cratère visible en projection, elle ne peut rendre compte de la variation du flux lumineux produite par l'occultation du négatif, et ne révèle que celle de l'éclat du cratère lui-même.

» Une fois ce point mis hors de doute, nous avons choisi, pour chaque diamètre du positif, un diamètre du négatif donnant les conditions de fonctionnement qui nous ont paru les plus favorables.

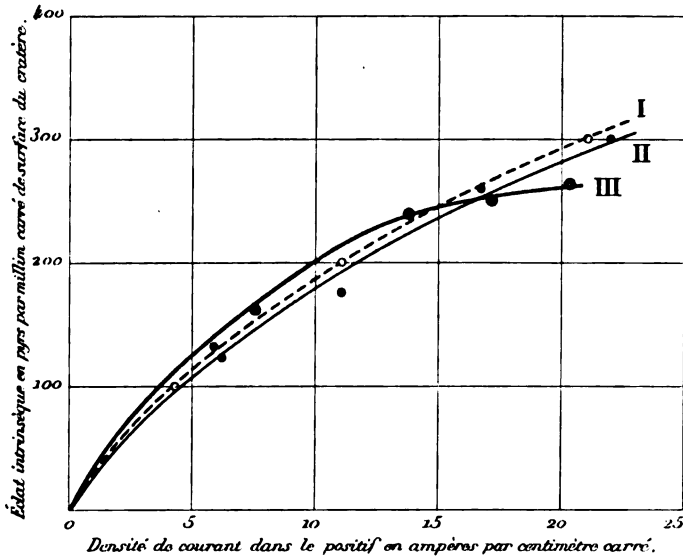
» Chaque paire de charbon a été essayée par la méthode directe, en faisant varier l'intensité du courant depuis les valeurs les plus faibles jusqu'aux valeurs les plus élevées, voisines de celles où le charbon positif commence à rougir.

» Nous avons traduit, figures 2 à 8, nos observations moyennes, par la première méthode, sur les courbes suivantes qui les résument pour les diamètres de 24^{mm}-16^{mm}, 30^{mm}-21^{mm}, 37^{mm}-26^{mm}, 40^{mm}-28^{mm}, 43^{mm}-30^{mm}, 44^{mm}-31^{mm} et 49^{mm}-35^{mm}. Les abscisses représentent la densité de courant dans le positif en ampères par centimètre carré de la section totale; les ordonnées, l'éclat intrinsèque du cratère en pyrs par millimètre carré de la surface incandescente.

» Sur les figures 2 à 8 se trouvent tracées les courbes résultant

Fig. 2.

Positif 24^{mm}. Négatif 16^{mm}.

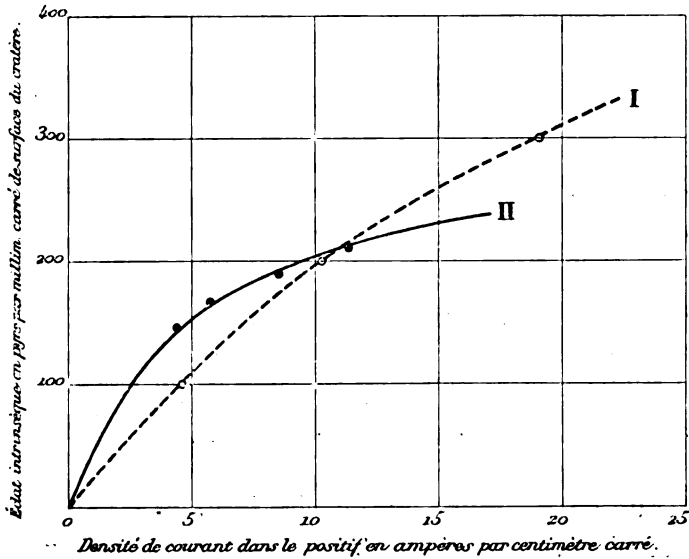


des observations moyennes par la méthode indirecte.

» Comme on le voit, ces courbes affectent la forme parabolique.

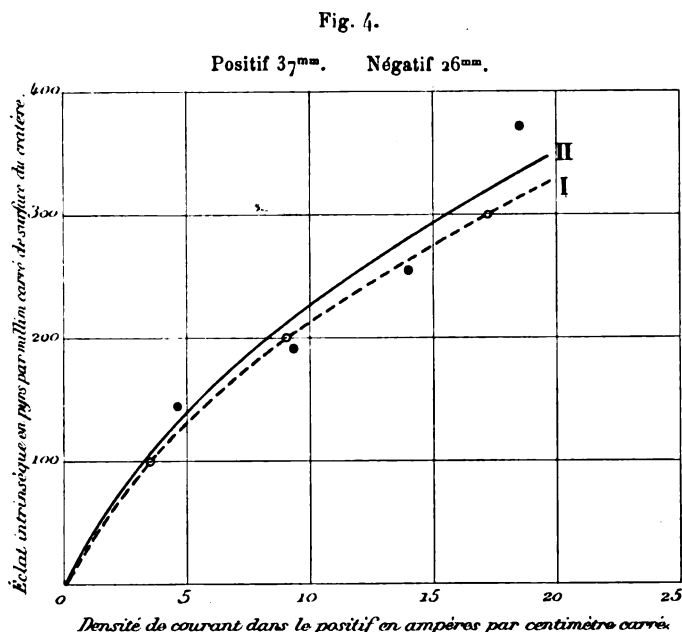
Fig. 3.

Positif 30^{mm}. Négatif 21^{mm}.



Elles croissent toutes, avec la densité de courant, sans aucune exception.

» On peut donc dégager de cet ensemble de faits une première loi



que nous formulerons comme suit :

» *L'éclat intrinsèque photométrique du cratère d'un arc, fonctionnant à l'air libre, croît avec la densité du courant dans le charbon positif.*

» Pour chaque figure, c'est-à-dire pour chaque diamètre, nous avons tracé une courbe d'éclat que nous appellerons *courbe théorique moyenne*. Elle résulte de considérations que nous allons exposer. Mais on remarquera qu'elle paraît moyenner assez convenablement les résultats des mesures directes ou indirectes.

» On remarquera que la loi de l'éclat qui ressort des observations précédentes se trouve sensiblement d'accord avec les observations que M. Blondel a faites sur les petits arcs et qui se trouvent consignées à la page 500 de son Mémoire de 1897 (*Éclairage électrique*, t. X).

» Pour un charbon de 15^{mm} de diamètre, M. Blondel a trouvé : avec 25 ampères, un éclat de 210 pyrs; notre loi donne 198 pyrs.

Avec 15 ampères, 195 pyrs; notre loi donnerait alors un chiffre trop

Fig. 5.

Positif 40^{mm}. Négatif 28^{mm}.

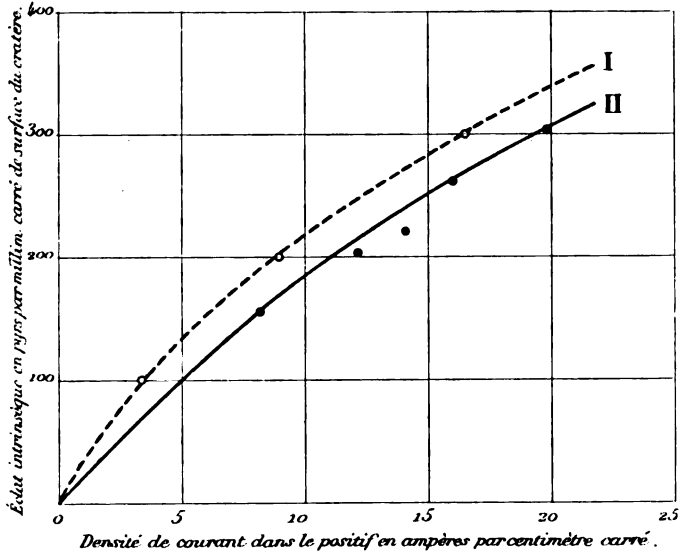
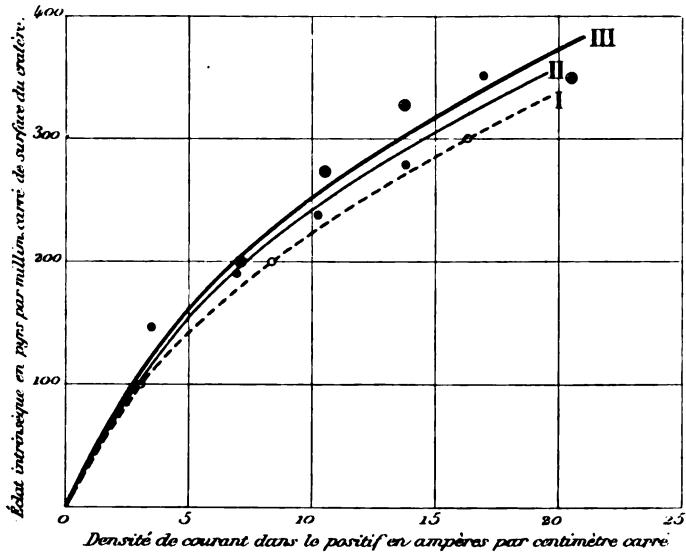


Fig. 6.

Positif 43^{mm}. Négatif 30^{mm}.

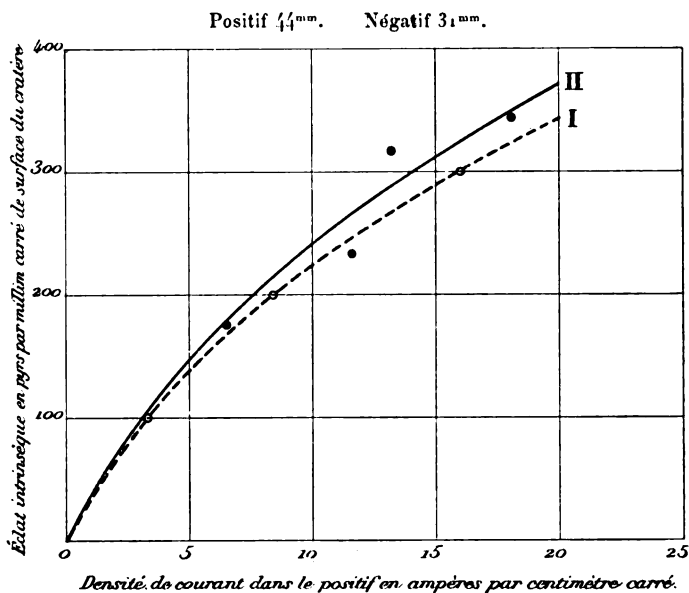


faible, mais elle ne s'applique plus à de si faibles intensités de courant.

» Avec 10 ampères M. Blondel a trouvé 174 pyrs, et avec 5 ampères, 163 pyrs.

» Pour les petits arcs, l'éclat croît donc avec l'intensité du cou-

Fig. 7.



rant, comme pour les gros arcs.

» *Influence du refroidissement.* — Le fait constant de l'accroissement de l'éclat intrinsèque d'un même charbon avec la densité du courant nous a conduits, M. A. Blondel et moi, à penser que cette augmentation provenait simplement de la diminution de l'influence du refroidissement par l'air extérieur, à mesure que l'intensité augmente, en négligeant les variations du rayonnement direct. Comme, d'après une loi de Kirchhoff, les conditions de refroidissement de corps noirs incandescents de formes semblables (comme le sont des arcs semblables, mais de calibres croissants) sont égales entre elles, nous avons dû attribuer la diminution du refroidissement principalement à l'accroissement de la température du charbon lui-même.

» Les calculs suivants sont basés sur cette hypothèse un peu fragile, mais qui cadré assez bien avec l'expérience, comme on le verra.

» Soient :

D le diamètre du charbon positif;

δ la densité du courant dans le positif;

i le courant total;

ρ la résistivité du charbon en ohms par centimètre de longueur et pour 1^{cm} de section.

» Pour une largeur de 1^{cm} de charbon la résistance électrique est $\frac{4\rho}{\pi D^2}$.

» L'énergie dissipée est $\frac{4\rho}{\pi D^2} i^2$.

» La surface extérieure du charbon cylindrique pour 1^{cm} est πD .

» Soient :

k le coefficient de conductibilité extérieure;

t_0 la température de l'air ambiant;

t la température du charbon.

» Le nombre d'unités de chaleur dissipées par seconde est $k(t - t_0)\pi D$. Cette quantité est égale à l'énergie développée par le courant; on peut donc écrire :

$$\frac{4\rho}{\pi D^2} i^2 = k(t - t_0)\pi D,$$

d'où

$$(1) \quad i^2 = \frac{k(t - t_0)\pi^2}{4\rho} D^3.$$

» Si l'on compare une série de charbons, en les supposant portés à la même température t , la température de l'air t_0 restant constante, la quantité $\frac{k(t - t_0)\pi^2}{4\rho}$ est une constante.

» On a donc

$$i^2 = AD^3$$

ou

$$(2) \quad i = AD^{\frac{3}{2}}$$

pour la relation qui lie le courant au diamètre.

» En exprimant le courant i en fonction de la densité δ de courant dans le positif, on a

$$i = \delta s \quad s - \text{section du positif} = \frac{\pi D^2}{4},$$

d'où l'on tire

$$(3) \quad \delta = \frac{B}{\sqrt{D}},$$

B étant une constante dont la valeur est $\frac{4k(t-t_0)}{\rho}$.

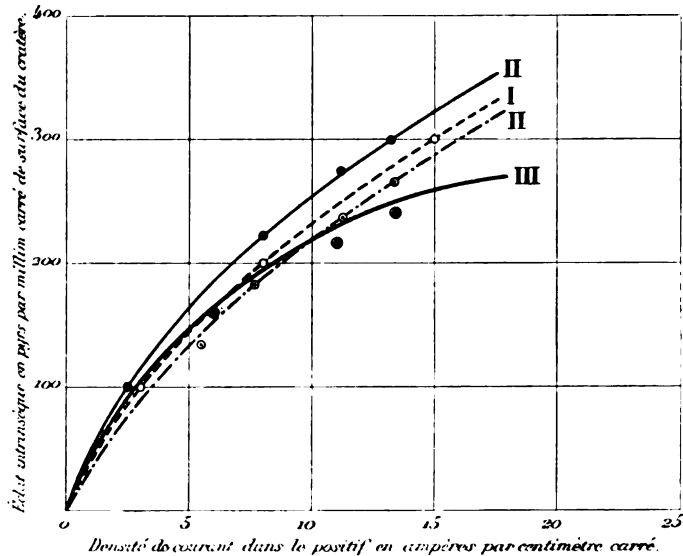
» Cette expression peut se traduire ainsi :

» *Dans une série de charbons de diamètres différents, portés à la même température par le passage du courant, la densité doit varier en raison inverse de la racine carrée du diamètre.*

» Sur la figure 8, qui représente les courbes expérimentales obtenues

Fig. 8.

Positif 49^{mm}. Négatif 35^{mm}.



nues avec les charbons du plus fort diamètre employé, 49^{mm} au positif et 35^{mm} au négatif, nous avons tracé une courbe théorique moyenne dont nous avons cherché l'équation. Nous avons supposé que cette courbe était une branche de parabole du second degré passant par l'origine et dont l'axe parallèle à l'axe des x se trouvait placé au-dessous. En appelant e l'éclat intrinsèque et δ la densité de courant dans le positif, a et b deux paramètres, l'équation de cette courbe est

$$(4) \quad e(e + a) = b\delta.$$

» Deux points suffisent à calculer a et b ; nous avons trouvé ainsi $a = 200$ et $b = 10000$ pour la courbe tracée sur la figure 8.

» Si l'on admet que, pour un autre diamètre de charbons D' , l'éclat intrinsèque reste le même lorsque l'influence du refroidissement reste la même, on voit que la valeur de la densité de courant δ' , qui donnera le même éclat e , sera fournie par l'expression

$$(5) \quad \frac{\delta'}{\delta} = \sqrt{\frac{D}{D'}} = K.$$

» La relation parabolique entre l'éclat et la densité pour le charbon D' devient donc

$$(6) \quad e(e + a) = b' \delta$$

en posant $b' = \frac{b}{K}$.

» Dans cette hypothèse et à l'aide des relations (4) et (6), nous avons calculé la série des courbes théoriques moyennes correspondant aux divers diamètres. Ces courbes sont marquées en pointillés sur les figures 2 à 7. Elles s'écartent assez peu des courbes moyennes d'observation pour que l'on puisse admettre dans la pratique, au moins à titre de première approximation, que l'éclat intrinsèque des divers charbons reste constant lorsque la densité de courant varie en raison inverse de la racine carrée du diamètre.

» Sur la figure 9, nous avons réuni en faisceau les courbes moyennes théoriques ainsi calculées. La loi de l'accroissement de la densité pour le même éclat spécifique, à mesure que le diamètre diminue, s'y montre clairement.

» Nous résumons donc les deux lois que l'observation pratique des gros arcs à courant continu nous paraît mettre hors de doute.

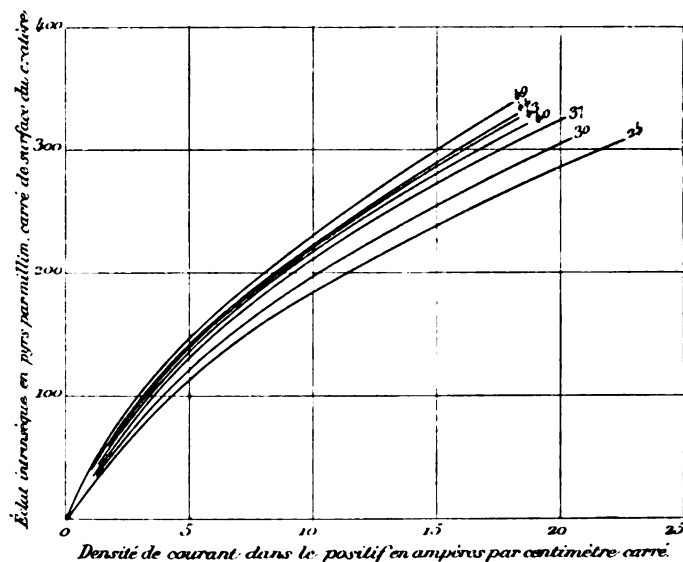
» 1° L'éclat intrinsèque photométrique du cratère, fonctionnant dans l'air libre, croît avec la densité du courant dans le charbon positif.

» 2° A même densité de courant dans le charbon positif, l'éclat intrinsèque augmente avec son diamètre.

» 3° L'éclat se rapproche d'une valeur constante quand on fait varier, pour une série d'arcs, la densité de courant en raison inverse de la racine carrée du diamètre.

» *Objections à notre méthode. Méthode de M. Violle.* — On pourrait objecter, à l'emploi de notre méthode, qu'elle n'a pas une très grande précision. Il est certain, en effet, que le photomètre ordinaire employé n'est pas un appareil permettant d'apprécier, à 1 ou 2 pour 100, la valeur d'un éclaircissement, et que la différence des teintes des deux plages à comparer vient amoindrir encore l'exactitude des mesures. Enfin, la variation de l'étalon est également une cause perturbatrice. Nous devons dire toutefois que l'influence de ces diverses causes est beaucoup moindre que celle de la variation même de l'éclat pendant

Fig. 9.



un court espace de temps. On pourrait rechercher des photomètres plus perfectionnés, et nous avons essayé successivement le photomètre de M. Mascart et celui de MM. Blondel et Broca; on pourrait aussi se proposer de trouver un étalon plus stable; mais, en réalité, à quoi pourraient servir des procédés de mesure plus rigoureux, mais beaucoup plus compliqués, donnant les valeurs à 1 ou 2 pour 100 près, si la quantité à mesurer varie pendant les mesures de 10 et de 15 pour 100? L'exactitude ne peut provenir que de moyennes effectuées sur un grand nombre de mesures, moyennes dans lesquelles disparaissent les erreurs systématiques des appareils. Il vaut mieux, pour les gros arcs, des procédés simples permettant des mesures ra-

pides, que des méthodes plus parfaites, mais qui exigent plus de temps pour les lectures.

» Une tout autre méthode a été employée, pour l'éclat des gros arcs, par Abney en Angleterre et par Violle en France, avec des conclusions semblables entre elles et contraires aux nôtres : c'est la méthode photographique. Notre éminent collègue s'est proposé de remplacer l'œil humain, avec ses imperfections, par une plaque sensible, comme M. Janssen l'avait indiqué pour la photométrie stellaire.

» Dès que nous avons connu les travaux de M. Violle pour la comparaison, par voie photographique, de l'éclat de l'arc dans un four électrique, nous avons essayé la même méthode pour l'arc fonctionnant à air libre.

» Nous avons fait construire, dans ce but, une longue chambre noire d'environ 4^m, permettant de photographier le cratère de l'arc sous un angle d'environ 45°, avec un grossissement de 10 diamètres. Nous avons obtenu ainsi une série de photographies comparatives sur des arcs d'intensité croissante, en prenant de notre mieux toutes les précautions nécessaires pour pouvoir déduire, de ces épreuves, une comparaison des éclats intrinsèques.

» Ces précautions sont multiples.

» Tout d'abord, il fallait régler le diaphragme de l'objectif à une ouverture assez faible pour que la pose fût au moins d'une vingtaine de secondes, afin de rendre négligeables les erreurs sur l'appréciation du temps de pose.

» Les obturateurs instantanés dont nous disposions n'avaient pas une constance suffisamment absolue pour nous permettre de comparer avec sûreté des clichés instantanés.

» Il fallait, d'autre part, que le temps de pose restât assez faible, relativement à la sensibilité de la pellicule, pour ne pas dépasser la limite d'addition des impressions photographiques. Nous avons relevé, dans ce but, des échelles de teintes en tirant successivement le volet d'un châssis contenant une pellicule sensible, de façon à réaliser des temps de pose régulièrement croissants.

» En examinant ces échelles on constate que le noircissement de la préparation sensible est bien loin de varier proportionnellement au temps, et que, au delà d'une certaine durée d'impression,

l'opacité reste constante très longtemps et même qu'elle redécroit ensuite.

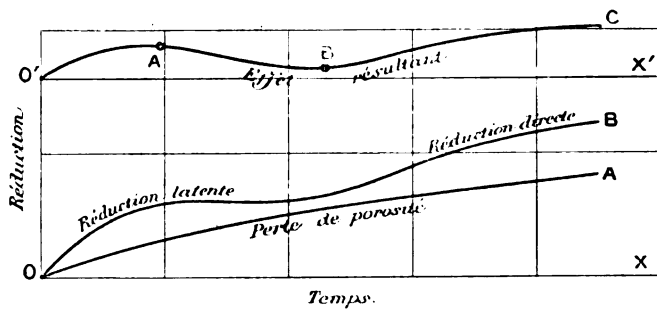
» Ces phénomènes ont été analysés par plusieurs auteurs avec beaucoup de détails.

» M. Janssen, le créateur de la Photographie photométrique ⁽¹⁾, évitait ces phénomènes en ramenant les impressions de deux étoiles à produire la même opacité au moyen de temps de pose différents, les éclats réels étant alors en raison inverse des temps de pose.

» Toutefois, cette méthode est impraticable avec l'arc électrique qui varie d'une manière continuelle.

» MM. Baille et Féry ⁽²⁾ ont représenté les phénomènes par les courbes de la figure 10.

Fig. 10.



» La courbe B indique, par ses ordonnées, comment croît la réduction des sels d'argent d'une pellicule de gélatinobromure, réduction d'abord latente (c'est-à-dire qui n'apparaît que sous l'action du révélateur), puis directe au delà d'un certain temps de pose qui est toujours assez long.

» En même temps, la lumière agit sur le support organique, la gélatine, et en réduit la porosité, ainsi que le montre la courbe A. L'opacité obtenue, après développement, est proportionnelle à la différence des deux actions, c'est-à-dire proportionnelle aux ordonnées de la courbe C rapportées à l'axe O' X'. On voit ainsi que, au delà du point A, la prolongation de la pose peut amener une réduction, puis une nouvelle augmentation de l'opacité. De même, on peut

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1881 et 1892.

(2) *Lumière électrique*, 14 juin 1890.

conclure à un accroissement de l'éclat, le temps de pose restant constant et égal à OA.

» Nous avons donc cherché à obtenir, par l'emploi de temps de pose assez courts, que l'impression restât franchement au-dessous du maximum A. En pratique, ce résultat est difficile; dans tous les cas, la courbe n'est pas rectiligne, et, par suite, les opacités ne sont pas proportionnelles aux éclats étudiés. Il est, en outre, impossible de comparer exactement les éclats d'après les teintes des clichés. Il faudrait mettre, pour cela, chaque éclat en échelle de teintes d'après la méthode de M. Janssen, ce qui est pénible et peu pratique avec l'arc, à cause de ses variations fréquentes.

» Ce n'est pas d'ailleurs la seule précaution.

» On ne peut comparer les épreuves que si elles sont développées rigoureusement dans le même temps, dans le même bain, et si elles sont continuellement agitées ensemble.

» Nous avons eu soin d'opérer ainsi.

» Malgré toutes ces précautions, les résultats que nous avons obtenus étaient peu nets et quelquefois inversés. Nous avons alors pensé que, la teinte des petits arcs étant plus violacée que celle des gros, leur actinisme pouvait être plus fort à égal éclat du cratère.

» Nous avons donc éliminé tous les rayons violets et chimiques en interposant, devant l'objectif, une cuve épaisse remplie d'une solution concentrée de bichromate de potasse. Nous avons accessoirement l'avantage de pouvoir employer des temps de pose un peu longs, comme nous le désirions, et, de plus, d'obtenir des images bien nettes du cratère, comme le montre la figure 11 relative aux arcs de 25 et 50 ampères.

» Mais, comme le montre aussi cette figure, les résultats comparatifs n'offrent aucune précision et sont bien inférieurs à ceux que fournissent la vision directe et la photométrie des images sans écran coloré, d'autant plus que, avec l'adjonction d'un écran coloré, l'éclat photographique ainsi mesuré n'avait qu'un rapport fort indirect avec l'éclat photométrique.

» Notre étude nous a donc permis de tirer au clair la question de la méthode photographique, appliquée aux arcs à air libre, sur laquelle reposaient jusqu'ici les connaissances des physiciens concernant l'éclat de l'arc électrique.

Fig. 11 A.



Fig. 11 B.



Fig. 11 C.



Elle n'est susceptible d'aucune créance dans ses résultats quantitatifs.

» Nos conclusions ont donc été, en définitive, les suivantes :

» 1° La méthode photographique ne convient pas à l'étude de l'arc ;

» 2° On peut craindre que les clichés de M. Violle aient été faits dans la partie A de la courbe de la figure 10 et n'aient pu mettre en évidence les énormes variations d'éclat que nous avons constatées, ou que, dans le cas contraire, l'égalité de leurs opacités provienne de l'actinisme prépondérant de l'arc proprement dit, dont les relations n'étaient pas éliminées d'abord comme dans nos essais.

» Une troisième hypothèse a été faite déjà par l'un de nous et est possible, au sujet des expériences de M. Violle, à savoir que le four électrique constitue une enceinte à température à peu près constante, dans laquelle l'état du cratère serait réellement constant, tandis qu'à l'air libre les conditions de refroidissement varient avec les dimensions de l'arc. Il y aurait alors, non plus ébullition à *température fixe*, comme dans le four électrique, mais simplement évaporation du carbone à *température variable, limitée par l'ébullition*. Le phénomène de M. Violle ne serait qu'une limite d'un phénomène plus général.

» Quoi qu'il en soit, nous ne saurions trop insister sur l'intérêt bien net qui se dégage de ces expériences, pour la suppression de tout élément étranger, tel que photographie et écrans colorés de tout genre, dans la photométrie industrielle et même scientifique. L'œil est encore actuellement, quand on sait l'employer, l'appareil de mesure le plus sûr pour la lumière, au sens usuel du mot.

» *Flux lumineux total d'un arc de grande intensité.* — La mesure directe du flux lumineux total d'un gros arc nécessiterait l'emploi du lumen-mètre. Nous n'avons pas employé cet appareil dans nos recherches, comme MM. Blondel et Laporte l'ont fait si heureusement pour les petits arcs, et nous nous sommes contentés d'appliquer la méthode de Rousseau, c'est-à-dire de l'intégration des intensités mesurées suivant les diverses directions de l'espace.

» Sans entrer dans le détail des résultats obtenus, nous avons pu, par cette autre voie, calculer le flux lumineux d'un arc connaissant son éclat intrinsèque et retrouver ainsi très sensiblement,

comme on va le voir, les nombres fournis par la méthode directe, ce qui établit une vérification intéressante.

» *Dimensions du cratère.* — L'aire du cratère, c'est-à-dire de la partie éclairante du positif, varie avec l'intensité du courant. D'un grand nombre de mesures nous avons déduit la loi empirique suivante : aire éclairante en millimètres carrés

$$S = mi^{\frac{3}{2}} \quad (i = \text{intensité en ampères}).$$

» m est une constante voisine de 0,2, l'intensité variant de 50 à 300 ampères.

» Le charbon suivant la loi de Lambert, le flux total émis par un cratère S est $\Phi = \pi Se$.

» Prenons, à titre d'exemple, un charbon de 24^{mm} de diamètre, parcouru par un courant de 75 ampères. L'aire éclairante

$$S = 0,2 \times 75^{\frac{3}{2}} = 130 \text{ mm}^2.$$

» L'éclat intrinsèque est donné par la formule

$$e(e + a) = b'\delta \quad \text{ou} \quad e(e + 200) = \frac{b}{K}\delta \quad (b = 10000),$$

$$K = \sqrt{\frac{49 \text{ mm}}{24 \text{ mm}}} = 1,427,$$

d'où

$$\frac{b}{K} = \frac{10000}{1,427} = 7000, \quad e(e + 200) = 7000\delta;$$

pour 75 ampères

$$\delta = \frac{75}{4,52} = 16,58 \text{ ampères},$$

d'où

$$e = 254 \text{ pyrs par millimètre carré.}$$

$$\Phi_{\text{total}} = 3,14 \times 130 \times 254 = 103600 \text{ lumens.}$$

» Ce flux total est le flux théorique, le charbon négatif supposé enlevé. Il résulte d'un grand nombre d'autres observations que nous avons faites ⁽¹⁾ que le flux total pratique est égal à 0,84 du flux total théorique. On voit donc que le flux total pratique d'un

(1) Voir, en particulier, notre Communication sur le *Lumenmètre Blondel* (*Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, année 1895, p. 211).

arc de 75 ampères dans un charbon de 24^{mm}, au voltage de 50 volts, est de

$$0,84 \times 103600 = 87000 \text{ lumens.}$$

» L'expérience a donné, par la méthode directe, 85800 lumens, On voit donc que l'accord entre notre méthode de mesure des éclats et la mesure du flux est aussi satisfaisant que possible.

» M^{me} Ayrton, dans ses Travaux si intéressants sur l'arc électrique, a donné une valeur de l'aire du cratère, assez différente de la nôtre au point de vue théorique. Toutefois, ses mesures ont surtout porté sur les petits arcs dans lesquels l'influence de la dimension de la mèche est beaucoup plus importante que dans les gros arcs.

» *Éclat intrinsèque et flux lumineux théoriques d'une série de charbons employés dans les projecteurs.* — Nous donnons sur le Tableau ci-joint les valeurs de l'éclat intrinsèque pour une série de charbons ayant les diamètres et les intensités de courant adoptés généralement dans les projecteurs.

Série de charbons pour lampe horizontale de projecteur.

Ampères.	Volts.	Watts dans la lampe.	Diamètre des charbons en millimètres.		Densité dans le positif.	Éclat intrinsèque du cratère, en pyrs.	Surface éclairante du cratère, en mm ² .	Flux théorique pour 180°, sans négatif, en lumens.	Flux théorique par watt dépensé dans la lampe.
			+	—					
					amp par cm ²				
25	46	1150	20	14	7,95	143	59	26500	23
45	47	2115	22	15	11,84	197	78	43200	20,4
60	48	2880	23	16	14,55	231	93	67400	23,4
75	50	3750	24	16	16,58	254	130	103600	27,6
90	51	4590	27	19	15,72	256	171	137500	30
100	51	5100	30	21	14,16	248	200	159500	31,3
120	53	6360	33	23	14,05	254	263	210000	33
150	56	8410	38	26	13,23	255	378	294000	35
200	60	12000	44	31	13,15	266	565	472000	39,3
250	62	15500	49	35	13,26	277	791	688000	44,4

» Dans la série précédente, les sections de charbons en fonction des courants ont été choisies un peu arbitrairement.

» Il est évident que, si l'on voulait suivre une voie tout à fait rationnelle, il faudrait choisir les diamètres différemment, de

façon que les charbons subissent toujours le même échauffement, c'est-à-dire en faisant varier le courant comme la puissance $\frac{3}{2}$ du diamètre, ainsi qu'on l'a expliqué plus haut.

» Dans ces conditions, on trouverait que l'éclat est sensiblement le même, quelles que soient les intensités de courant.

» De ces considérations théoriques il résulte une conséquence pratique fort importante : c'est que tous les arcs donnent sensiblement le même éclat dans un projecteur donné, et que les diamètres des cercles éclairés diffèrent seuls. Comme, d'autre part, suivant une loi indiquée antérieurement par l'un de nous et que nous avons vérifiée expérimentalement [BLONDEL et REY, *Sur l'éclat des projecteurs* (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 31 janvier 1898)], l'éclairement du cercle projeté varie sensiblement proportionnellement à la section droite du faisceau sortant du projecteur, on voit qu'il y a tout intérêt, même si l'on ne peut augmenter l'énergie disponible pour l'arc, à accroître la section du projecteur ou, autrement dit, son diamètre, car on renforce ainsi l'éclairement aux dépens seulement de la largeur du cercle éclairé; tandis que, si l'on accroit l'énergie dépensée dans un projecteur donné, on augmente seulement le diamètre du cercle éclairé, mais non son éclairement. »

M. VILLARD. -- « Au sujet des divergences signalées par M. Rey entre les résultats trouvés par M. Violle et les siens, je rappellerai que les expériences de M. Violle, commencées en 1892, ont été très étendues et ont porté sur des arcs de 10 à 1200 ampères. Dans ces limites, M. Violle a toujours constaté que l'éclat du cratère positif est indépendant de la densité du courant, mais que la température de l'arc proprement dit et, par suite, son éclat augmentent avec l'intensité.

» Pour éliminer complètement l'effet de l'arc, M. Violle, dans ses comparaisons photographiques, interposait un écran rouge qui absorbait presque toutes les radiations des gaz incandescents; cette méthode a servi comme vérification seulement. La méthode rigoureuse reposait sur l'emploi du spectrophotomètre, grâce auquel il était facile de séparer et d'éliminer les raies très brillantes dues à

l'arc, les observations photométriques portant uniquement sur les parties continues du spectre ⁽¹⁾.

» Dans les expériences de M. Rey, le défaut de constance de l'éclat, quand la densité de courant augmente, tient à l'effet de la lumière de l'arc lui-même, laquelle n'est nullement négligeable, et aussi à ce fait que le cratère ne présente pas un éclat uniforme, les conditions de refroidissement n'étant pas les mêmes dans tous les points. L'arc est un phénomène d'ébullition d'un corps solide; la température des corps en ébullition doit donc être constante, mais lorsque l'intensité du courant change, la surface en ébullition varie.

» Les expériences de M. Violle ont été faites en très grand nombre et avec assez de soin pour conserver encore toute leur valeur à l'heure actuelle. »

La séance est levée à 9^h55^m du soir.

(¹) C'est la méthode inverse de celle qu'on emploie en Astronomie pour observer les protubérances et la chromosphère solaire en s'affranchissant de la lumière à spectre continu émise par la partie centrale de l'astre.

PÉRIODIQUES ÉTRANGERS.

MÉMOIRES ORIGINAUX.

ALLEMAGNE.

Elektrotechnische Zeitschrift.

17/14. — Contribution au calcul des feeders de tramways; *A. Sengel*. — Mesure des puissances; *J. Görner*. — Ondes électriques (*suite*), *G. Seibt*. — Câble téléphonique sous-marin à induction augmentée; *C. Krarup*. — Traction électrique sur les chemins de fer; matériel d'Oerlikon.

21/4. — Constructions graphiques pour le calcul des réseaux; *B. Joschinski*. — Mesure des puissances (*fin*); *J. Görner*. — Mesure directe des courants, phases et puissances par l'électromètre; *K. Hohage*. — Ondes électriques (*suite*); *G. Seibt*.

1/5. — Sur les coupe-circuits dans les branchements; *A. Sengel*. — Calcul de la graduation des rhéostats; *R. Krause*. — Ampèremètre à fil chaud; *Kollert*. — Ondes électriques (*suite*); *G. Seibt*.

8/5. — Exposition de Dusseldorf; *A. Seyffert*. — Densité de courant dans les résistances; *J. Erlocher*. — Installation de Buenos-Ayres; *H. Biecher*. — Ondes électriques (*fin*); *G. Seibt*.

Station centrale de Saint-Petersbourg, de la Société « Électricité et Hydraulique »; *W. Multhaus*. — Interrupteur... (*fin*); *S. Schmidt*. — Sur la définition de la différence de phase; *E. Orlich*. — Bureau central téléphonique du Post-Office, à Londres.

26/6. — Générateurs asynchrones, mono et polyphasés; *A. Heyland*. — Sur une interchangeabilité absolue des coupe-circuits; *E. Dreefs*. — Distribution polycyclique Arnold-Bragstad-Lacour; *E. Arnold*. — Expériences sur les accumulateurs zinc-plomb; *O. Gabran*. — Percement des câbles par les coups de foudre; *K. Wilkens*.

3/7. — Compteurs-moteurs; *Th. Bruger*. — Distribution... (*fin*); *E. Arnold*. — Considérations sur les stations centrales de traction; *M. Eisig*. — Portée à donner aux canalisations aériennes à fil nu; *K. Krohne*.

10/7. — Démarrage des moteurs électriques; *C. Kötting*. — Considérations... (*fin*); *M. Eisig*. — Distorsion du champ et réaction d'induit; *R. Bauch*.

Centralblatt für Accumulatoren.

1/5. — Recherches sur les plaques à plomb spongieux (*fin*); *U. Schoop*. — Formation électrolytique du peroxyde (*suite*); *F. Peters*.

1/7. — Exposition de Dusseldorf. — Troubles dans les batteries d'accumulateurs stationnaires... (*fin*); *H. Wehrlin* et *V. Langstein*.

AMÉRIQUE.

Electrical World and Engineer.

3/4. — Le téléphone dans la télégraphie sans fil; *E. Guarini*. — Télégraphie sans fil; *F. Collins*. — Procédé électrolytique *Æcker* pour la fabrication des alcalis; *P. Townsend*.

12/4. — Le téléphone (*fin*); *E. Guarini*. — Mise à la terre des systèmes à haute tension; *J. Nies*. — L'accumulateur pour le service des automobiles; *W. Palmer*.

19/4. — Rapport de transformation dans les circuits triphasés; *A. del Mar*. — Installation et exploitation des téléphones (*suite*); *S. Abbott*.

26/4. — Déviation du fil à plomb; *F. Mc Nair*. — Réactance synchrone; *F. Baum*.

3/5. — L'électricité en Autriche-Hongrie; *F. Horschütz*. — Commutatrice comme régulateur de tension; *M. Seidner*.

14/6. — Système Braun et Siemens de télégraphie sans fil; *A. Collins*. — Notes sur la synchronisation; *J. Romau*. — Télégraphie à grande distance et ondes hertziennes; *E. Thompson*.

21/6. — Arc alternatif; *E. Adler*. — Établissement et exploitation des bureaux téléphoniques; *A. Abbott*.

28/6. — Présent et avenir de la télégraphie sans fil; *A. Collins*.

ANGLETERRE.

The Electrician.

18/4. — Télégraphie sans fil en Espagne; *E. Guarini*. — Problème des chemins de fer électriques (*fin*); *J. Swinburne* et *R. Cooper*. — Grandes machines à gaz couplées à des dynamos; *A. Bellamy*. — Courants polyphasés (*suite*); *C. Eborall*. — Electrolyse par les courants alternatifs; *E. Wilson*.

25/4. — Grandes machines à gaz (*fin*); *A. Bellamy*. — Bases scientifiques de la télégraphie sans fil.

2/5. — Bases scientifiques (*fin*).

7/5. — Mesure balistique de l'hystérésis; *G. Searle*.

27/6. — Chemin de fer aérien de Liverpool. — Nouveau système du téléphone à Paris; *J. Bordelongue*. — Progrès de la télégraphie aérienne; *G. Marconi*.

4/7. — Générateurs mixtes et leurs applications; *E. Ruthven-Murray*. — Courants continus à haute tension; *A. Barnard*.

Electrical Review.

11/4. — Notes sur les installations intérieures; *F. Broadbent*. — Méthodes actuelles de canalisation intérieure; *F. Bathurst*.

18/4. — Marche en parallèle des alternateurs (*fin*); *H. Leake*.

25/4. — Explosion de gaz dans les conduites électriques. — Notes sur les machines polyphasées; *C. Eborall*.

2/5. — Nouveau type de lampe à courant continu; *F. Lewis*.

9/5. — Fabrication des lampes à incandescence.

20/6. — Nouvelle usine de Shoreditch. — Notes sur les machines polyphasées... (*fin*); *C. Eborall*.

27/6. — Télégraphie sans fil et câbles sous-marins; *E. Guarini*. — Note sur l'influence de la composition chimique sur la résistance des rails; *S. Woodfield*. — Théorie cyclonique du magnétisme; *H. Cottrell*.

4/7. — Télégraphie... (*fin*); *E. Guarini*.

Journal of the Institution of Electrical Engineers.

Problèmes des chemins de fer électriques; *I. Swinburne* et *W. Cooper*.

Relai automatique pour longs câbles sous-marins; *S. Brown*. — Traction sur les chemins de fer italiens; *C. Carus Wilson*. — Notes sur l'influence de l'installation des sous-stations et de la ligne sur le prix de l'énergie électrique; *A. Stewart*.

Note sur la puissance hydraulique en Irlande; *W. Tallow*. — Quelques points de l'équipement des voitures de tramways; *W. Rhodes*. — Essais de la lampe Nernst; *R. Hulse*. — Étincelles des interrupteurs; *A. Russell*.

AUTRICHE.

Zeitschrift für Elektrotechnik.

20/4. — Quelques mots sur le moteur compensé d'Hoyland; *M. Breslauer*.

27/4. — Enroulements pour courant continu et spécialement enroulement en série parallèle; *F. Eichberg*. — Compteur électrolytique *Wright*.

4/5. — Moyens de diminuer le courant à vide des installations à courants alternatifs; *Winkler*. — Propriétés électriques et magnétiques de quelques alliages de fer; *B. Böhm-Raffay*.

11/5. — Propriétés électriques et magnétiques de quelques alliages de fer (*fin*); *B. Böhm-Raffay*. — Métropolitain de Berlin; *H. Koestler*.

22/6. — Dynamo à courant continu de 25000 volts; *B. Böhm-Raffay*.

29/6. — Signal de bloc automatique pour le chemin de fer à voie unique Liverpool-Manchester.

6/7. — Établissement théorique de la formule de Steinwetz; *I. Döry*.



BIBLIOGRAPHIE.

Les générateurs d'électricité à l'Exposition universelle de 1900, par C.-F. GUILBERT, ingénieur électricien (20 Tableaux hors texte, 615 gravures et plans dont 118 planches hors texte; un fort volume de 760 pages).

Nous avons insisté à dessein sur les renseignements qui accompagnent le titre de l'Ouvrage pour en bien montrer l'importance; le nom de l'auteur est un garant suffisant des soins qui seront apportés à la présentation des documents qu'il renferme.

Il était évident que le sujet des générateurs d'électricité à l'Exposition de 1900 tenterait nos écrivains de la littérature électrotechnique; il ne pouvait rationnellement être traité qu'une fois, sous condition d'y réussir.

Préparé par les articles successivement parus en 1900 et 1901 dans l'*Éclairage électrique*, sous sa signature, M. C.-F. Guilbert était qualifié pour mener à bien une tâche aussi sérieuse; il restait à coordonner, sinon à contrôler strictement, les renseignements fournis par les constructeurs, et sous leur responsabilité en tant que nombre et précision.

L'un des mérites des *Générateurs d'électricité* réside précisément dans la classification méthodique adoptée; chacune des Parties est précédée, en outre, d'un paragraphe résumant l'historique de la question et les propriétés générales du genre d'appareils décrits.

L'Auteur, dans sa préface, expose qu'il a cherché à constituer un portefeuille des machines dynamos présentées à l'Exposition et à établir une sorte de repère du développement de la construction des générateurs d'électricité à cette époque; son but a été pleinement atteint.

L'Ouvrage comprend trois divisions principales : alternateurs, convertisseurs et machines à courant continu.

Dans la première Partie, les alternateurs sont classés tout d'abord suivant le mode de construction des pôles et subdivisés ensuite d'après la disposition de l'induit. Une classe nouvelle apparaît ici, celle des alternateurs à pôles continus, qui conduit à envisager l'établissement des alternateurs asynchrones.

Les alternateurs à flux ondulé ou homopolaires sont divisés sur le même plan que les alternateurs hétéropolaires.

Avec chaque générateur, le moteur à vapeur complétant le groupe est décrit en détail.

Les convertisseurs, décrits dans la deuxième Partie, comprennent les transformateurs rotatifs avec moteurs asynchrones, les commutatrices et les transformateurs-redresseurs.

Par analogie avec les alternateurs, les dynamos à courant continu sont, dans la 2^e Série, Tome II, 1902. — N° 17.

troisième Partie, diversifiées suivant la nature des matériaux du circuit magnétique et réparties ensuite, d'après la conformation de l'induit (armatures à induits dentés, à induits à encoches, à induits lisses).

Pour faciliter les recherches, les constantes, dimensions principales et résultats d'essais ont été réunis sous forme de Tableaux dans un Appendice. Nous y trouvons encore une collection d'oscillographies du plus grand intérêt relevées par M. Dobkévitch avec l'oscillographe Blondel.

Signalons enfin une internationalisation scientifique des plus heureuses qui fera apprécier le recueil de M. Guilbert, non seulement en France, mais encore à l'Étranger : *l'impression des divisions générales* du livre, des légendes et des Tableaux *en trois langues* : français, allemand, anglais.

Les soins apportés à l'édition d'une œuvre aussi importante lui forment un cadre dont l'élégance n'est pas une partie négligeable.

En résumé, recueil à recommander à tous ceux qui désirent se documenter sérieusement sur l'état actuel des générateurs d'électricité.

Recherches sur les forces électromotrices d'aimantation, par M. RENÉ PAILLLOT,
Docteur ès sciences. Danel, imprimeur, Lille.

Des forces électromotrices dites d'*aimantation* prennent naissance entre deux barreaux d'une substance magnétique lorsqu'on les plonge dans un électrolyte susceptible de les attaquer et que l'un d'eux est soumis à l'action d'un champ magnétique.

Dans ses recherches intéressantes, M. Paillot s'est proposé d'étudier la force électromotrice d'aimantation pour des champs magnétiques très intenses et sa variation en fonction de la température.

Sans entrer dans les détails de la thèse de doctorat soutenue par l'auteur à la Faculté des Sciences de Lille, nous nous contenterons de citer les conclusions de ses minutieuses et longues expériences :

1° La force électromotrice d'aimantation du fer et des divers aciers tend, pour une température déterminée comprise entre 0° et 70°, vers une limite déterminée quand on augmente suffisamment l'intensité du champ magnétique.

2° Cette limite est atteinte pour un champ magnétique dont la valeur correspond très sensiblement à l'intensité d'aimantation maximum de l'échantillon employé.

3° La force électromotrice d'aimantation des substances magnétiques augmente avec la température.

4° Cette augmentation tend vers une limite déterminée atteinte pour le champ magnétique correspondant à l'intensité d'aimantation maximum de l'échantillon employé.

5° La limite vers laquelle tendent les coefficients moyens de température est la plus grande pour le fer, les aciers ordinaires et l'acier au nickel renfermant 28 pour 100 de nickel.

Elle est la plus faible pour l'acier au nickel à 45 pour 100 de ce dernier métal.

6° La force électromotrice d'aimantation du bismuth diminue quand la température augmente.

Les bateaux sous-marins et les submersibles, par R. D'EQUEVILLE, Ingénieur civil des constructions navales. (*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire.*) Gauthier-Villars, éditeur, Paris.

Bien que relatif à un sujet spécial, ce Volume n'en est pas moins intéressant pour les électriciens. L'auteur développe dans ses grandes lignes l'histoire de la question, toute d'actualité, des sous-marins et des submersibles. Il examine successivement tous les points importants du problème, indiquant les solutions adoptées et fournissant un certain nombre de renseignements inédits.

L'Ouvrage se termine par un bref exposé de la tactique à suivre pendant le combat et par une discussion des différents programmes de concours qui ont été institués par quelques grands États.

L'électricité joue un rôle capital dans la majorité des bateaux sous-marins. Le plus grand nombre de ceux-ci sont en effet munis d'accumulateurs électriques, actionnant les moteurs, qui assurent la propulsion de ces engins destinés peut-être, comme le pense l'auteur, à rendre les futures guerres navales impossibles.

Leçons d'Électricité industrielle, par M. PIONCHON, Directeur de l'Institut électrotechnique de Grenoble. A. Gratier et C^{ie}, éditeurs. Grenoble : 1902.

Cette première Partie des *Leçons* de M. Pionchon est consacrée à l'étude des éléments d'électricité et de magnétisme applicables à l'électrotechnique.

L'électrostatique fait l'objet des cinq premières Leçons, tandis que les deux suivantes traitent des aimants, des champs magnétiques et de la magnétométrie.

L'électromagnétisme et l'électrocinétique nous conduisent jusqu'après la seizième Leçon.

L'auteur aborde alors l'électrothermie pour terminer par l'exposé des principes de l'électrochimie.

Le caractère de cet Ouvrage est d'offrir, à ceux qui veulent étudier avec fruit la Science électrique, un exposé simple, clair, méthodique et bien lié des notions fondamentales. M. Pionchon a cherché à présenter à ses auditeurs et lecteurs de bons cadres, dégagés de traits superflus. Il y a parfaitement réussi et ses *Leçons* seront certainement accueillies avec la plus grande faveur. Les deux autres Parties traiteront des notions fondamentales concernant la production et l'utilisation industrielle de l'énergie électrique : 1° par courants continus ; 2° par courants alternatifs.

Mesures électriques, essais industriels, par M. E. VIGNERON, Ingénieur, ancien Professeur à l'École supérieure d'Électricité. (*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire.*) Gauthier-Villars, éditeur, Paris.

Ce Volume fait suite aux *Mesures électriques, essais de laboratoires* du même auteur. Il est relatif aux essais industriels : mesures magnétiques, mesure des puissances électriques, étude des courants alternatifs, mesures mécaniques, etc. Des Chapitres

spéciaux ont été réservés pour l'examen des dynamos, alternateurs, moteurs d'induction et transformateurs.

Un Appendice rappelle la réglementation américaine pour les essais des générateurs, moteurs, transformateurs, etc.

En résumé, dans un petit nombre de pages, M. Vigneron a su condenser dans son essence un sujet aussi vaste qu'important.

L'Année électrique, électrothérapie et radiographique, par le D^r FOVEAU
DE COURMELLES. Ch. Béranger, éditeur, Paris, 1902.

Cette Revue des progrès réalisés en 1901, dans les diverses spécialités électriques énoncées dans le titre, en est à sa seconde année. Comme l'an dernier, l'auteur a voulu donner un aperçu fidèle et complet des innovations intéressant les électriciens, les médecins, voire même le grand public, bien que ce Livre ne soit pas à proprement parler un Livre de vulgarisation. Les quinze Chapitres qui le constituent sont respectivement consacrés à l'examen des faits et appareils scientifiques, à l'électrochimie, à l'éclairage, au chauffage, à la télégraphie et à la téléphonie, avec et sans fils; à la traction électrique, aux applications de l'électricité à la guerre, aux accidents et à l'hygiène électrique, à l'électrothérapie, à la radiographie et à la photographie. Une Notice nécrologique termine ce Volume de plus de 400 pages. L'éditeur a fait un véritable tour de force en réussissant à ne pas majorer le prix habituel. Il a dû, pour y arriver, sacrifier un peu au luxe d'édition de ses publications ordinaires.

Législation des chutes d'eau, sources, rivières, cours d'eau non navigables.

Manuel pratique, par M. P. BOUGAULT, avocat à la Cour d'Appel de Lyon. 1 volume grand in-8°. Gratier et C^{ie}, éditeurs. Grenoble; 1902.

Ce Livre fait partie de la Collection des *Études électrotechniques : Au pays de la houille blanche*.

Résumer la législation des chutes d'eau et approfondir certaines questions techniques dont la connaissance est utile aux industriels, ingénieurs, propriétaires de chutes, etc.

L'auteur étudie avec soin la loi de 1898 et les modifications qu'elle fait subir au Code civil.

Il développe, avec les détails que cette importante question nécessite, la théorie des droits de riveraineté.

Ce Livre est en somme utile à tous ceux qui s'occupent des chutes d'eau; il est essentiellement pratique.

Installations d'éclairage électrique. Manuel pratique, par E. PIAZZOLI, traduit de l'italien sur la cinquième édition, par MM. GENNARO-CUCURULLO et AM. DELLA SANTA. 1 volume in-8° de 650 pages, avec 264 figures dans le texte et 90 tableaux. Ch. Béranger, éditeur, Paris; 1902.

Cet Ouvrage aborde presque toutes les questions qui se rattachent à l'Électricité. Il

ne comprend pas moins de 14 Chapitres qu'il suffira d'énumérer pour montrer la variété des sujets traités.

Introduction rappelant les principaux phénomènes électriques et magnétiques ; unités ; mesure des différences de potentiel, des résistances, de l'intensité du courant, de la puissance ; compteurs ; machines dynamo-électriques, installation, conduite, réparations ; couplage des dynamos, accumulateurs, transformateurs ; éclairage électrique, lampes à arc et lampes à incandescence ; canalisations aériennes, conducteurs souterrains et canalisations intérieures ; calcul des conducteurs, appareils auxiliaires, système de distribution, coût des installations, notes sur l'exploitation des usines d'éclairage électrique ; lois, règlements publics et divers.

Très bien accueilli en Italie, où il en est à sa cinquième édition, ce volume pratique mérite de même un légitime succès en France.

La traduction ne se ressent pour ainsi dire pas d'avoir été faite par des ingénieurs étrangers.

Ils ont montré, en cette occasion, leur parfaite connaissance du sujet et de la langue de notre pays.

Les Théories électriques de J. CLERK-MAXWELL, étude historique et critique, par P. DUHEM, professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux. Un volume grand in-8°, 228 pages. Librairie scientifique A. Hermann, Paris, 1902.

Dans cette étude, aussi remarquable que claire, M. Duhem présente l'Œuvre de Maxwell. Cette Œuvre si complexe est souvent obscure et renferme bien des contradictions. L'auteur les fait toucher du doigt et montre que ce qui a été appelé quelque fois *coup de pouce* dans les développements analytiques de Maxwell ne lui retire pas de son génie.

L'Ouvrage comprend deux Parties : la première résume les idées de Faraday et de Mosotti, puis traite des trois électrostatiques de Maxwell. La première électrostatique ne constitue pas une véritable théorie physique, car Maxwell, appliquant aux diélectriques les équations de la chaleur, arrive simplement à une identité mathématique.

La seconde théorie de l'Électrostatique présente plus d'attrait, mais des erreurs de calcul amènent Maxwell à des conclusions tellement contraires à la vérité qu'il les modifie d'emblée. Pour cela, il n'hésite pas à changer les signes de certains termes des équations, sans que rien semble permettre un tel sans-gêne.

La troisième électrostatique est la plus claire et Maxwell, ne s'y sert plus de ses licences de calcul.

Dans la deuxième Partie, l'auteur expose les analogies hydrodynamiques introduites par Maxwell dans son étude sur l'Électrodynamique. C'est dans cette partie que se trouve la célèbre théorie électromagnétique de la lumière.

Ce qu'on doit retenir de l'Œuvre du savant anglais, ce sont les *équations de Maxwell*, sans souci des procédés par lesquels elles ont été obtenues.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

France.

- Au pays de la houille blanche. Études électrotechniques. — Guide pratique pour le calcul des lignes électriques aériennes à courants alternatifs simples et triphasés*, par J. PIONCHON et TH. HEILMANN; Grenoble, A. Grattier et J. Rey, 1902; 1 vol. in-8 cartonné toile (avec 4 planches hors texte). (Don des Éditeurs.)
- Compte rendu des séances du vingt-cinquième Congrès des Ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur*, 1901; Paris, E. Capiomont et C^{ie}, 1902; 1 vol. in-8 broché. (Don de l'Association.)
- Guide-Annuaire général des Industries : Gaz, eaux, électricité*, 1902. Huitième année. Directeur : ÉMILE FLEURY; Paris, Imprimerie des Arts et Manufactures, 1902; 1 vol. in-8 cartonné toile. (Don de l'Auteur.)
- La Mécanique à l'Exposition de 1900. — Dixième livraison : Les Machines-outils*, par GUSTAVE RICHARD. — Treizième livraison : *Les Machines frigorifiques*, par GUSTAVE RICHARD; Paris, V^{ve} Ch. Dunod, 1902; 2 fasc. in-4 brochés. (Don de l'Éditeur.)
- La théorie de l'accumulateur au plomb*, par le D^r FRIEDRICH DOLEZALEK, traduit de l'allemand, par CH. LIAGRE; Paris, Ch. Béranger, 1902; 1 vol. in-8 relié toile. (Don de l'Éditeur.)
- L'Électricité déduite de l'expérience et ramenée au principe des travaux virtuels*, par M. E. CARVALLO; Paris, C. Naud, 1902; 1 vol. in-8 écu cartonné. Collection Scientia. (Don de l'Éditeur.)
- Les canalisations électriques. — Première Partie : Fonctionnement et calcul des canalisations à courant continu*, par le D^r TEICHMULLER, traduit de l'allemand avec l'autorisation de l'Auteur, par PIERRE BREUIL; Paris, Ch. Béranger, 1902; 1 vol. in-8 cartonné toile. (Don de l'Éditeur.)
- Le Volta. — Annuaire de renseignements sur l'électricité et les industries annexes*, par CAMILLE GROLLET. Troisième édition; Paris, Société

fermière des *Annuaire*s, 1902; 1 fort vol. gr. in-8 cartonné toile. (*Don de l'Auteur.*)

Neuf comptes rendus de Congrès internationaux offerts par le Ministère du Commerce et de l'Industrie :

1^o *Annales internationales d'Histoire. Congrès de Paris, 1900*; Paris, Armand Colin, 1901; 6 fasc. in-8 brochés;

2^o *Comptes rendus des séances du premier Congrès international d'Électrologie et de Radiologie médicales* (Paris, 27 juillet-1^{er} août 1900); publiés par les soins de M. le professeur E. DOUMER; Lille, imprimerie Le Bigot frères, 1901; 1 vol. in-8 broché;

3^o *Compte rendu du deuxième Congrès international des Mathématiciens*, tenu à Paris du 6 au 12 août 1900. — *Procès-verbaux et Communications*, publiés par E. DUPONCQ; Paris, Gauthier-Villars, 1902; 1 vol. in-8 broché.

4^o *Congrès international de Chronométrie. Comptes rendus des Travaux, Procès-verbaux, Rapports et Mémoires*, publiés sous les auspices du Bureau du Congrès, par MM. E. FICHOT et P. DE VANSAY, Secrétaires; Paris, Gauthier-Villars, 1902; 1 vol. in-4 broché;

5^o *Congrès international de l'Industrie du gaz; Paris, 1900. Comptes rendus des Travaux*, publiés par les soins de la Société technique de l'Industrie du gaz en France; Paris, imprimerie de la Société anonyme de publications périodiques, 1900; 1 vol. in-8 cartonné toile;

6^o *Congrès international de surveillance et de sécurité en matière d'appareils à vapeur*, tenu à Paris en 1900. Vingt-quatrième Congrès des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur; Paris, imprimerie E. Capiomont et C^{ie}, sans date; 1 vol. in-8 broché;

7^o *Rapports et Travaux du Congrès international de Physique*, réuni à Paris en 1900, sous les auspices de la Société française de Physique, rassemblés et publiés par CH.-ED. GUILLAUME et L. POINCARÉ; Paris, Gauthier-Villars, 1900-1901; 4 vol. in-8 brochés;

8^o *Troisième Congrès international de l'Acétylène*, tenu à Paris du 22 au 28 septembre 1900, sous la présidence de M. le général SEBERT. *Rapports, Discussions, Travaux et résolutions du Congrès*, publiés sous la direction de M. R. GUILBERT; Paris, Société des publications scientifiques et industrielles, 1901; 1 vol. in-8 broché;

9^o *Union internationale permanente de Tramways. — Congrès international des Tramways*; Paris, 10, 11, 12 et 13 septembre 1900. Onzième assemblée générale de l'Union. *Comptes rendus détaillés*; Bruxelles, imprimerie Tr. Rein; 1 vol. gr. in-4 cartonné.

Questions économiques. — Industrie russe. — Commerce de la Russie et de la France (supplément du Bulletin de la Chambre de Commerce russe de Paris); Paris, 1902; 1 brochure in-8. (*Don de la Chambre de Commerce russe.*)

Étranger.

Die Thätigkeit der physikalisch-technischen Reichsanstalt im Jahre 1901.
Mittheilung aus der physikalisch-technischen Reichsanstalt. Sonderabdruck aus der Zeitschrift für Instrumentenkunde; Berlin, J. Springer, 1902; 1 broch. gr. in-8. (*Don de la Physikalisch-technische Reichsanstalt.*)
Westinghouse A. C. Power Transmission. — Westinghouse Electric Traction Apparatus; sans lieu ni date; 2 vol. in-8 reliés (avec figures et planches. (*Don de la Société anonyme Westinghouse.*)

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Voyage d'études techniques de l'École supérieure d'Électricité (M. H. Chaumat), p. 627.

CONFÉRENCES FAITES AUX ÉLÈVES AU COURS DU VOYAGE :

La protection des lignes aériennes contre la foudre (M. Dussaughey), p. 633. — L'usine génératrice de Champ (M. Lépine), p. 659. — Les régulateurs automatiques et le compoundage électromécanique des groupes électrogènes (M. Routin), p. 678.

ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ : Promotion 1901-1902, p. 705. — Modifications aux conditions de dispense du Concours d'entrée, p. 706.

VOYAGE D'ÉTUDES TECHNIQUES DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ.

Pour la cinquième fois, l'École supérieure d'Électricité entreprenait, du 29 juin au 11 juillet, son habituelle tournée d'études techniques. Vingt-quatre de nos élèves y ont pris part et ont pu étudier, en Suisse et sur quelques points de notre territoire, les diverses manifestations de l'activité industrielle dans le domaine de l'Électricité.

La caravane était dirigée par M. P. JANET, assisté de MM. CHAUMAT et WEBER. Voici le programme, plutôt un peu trop nourri, de notre voyage :

Dimanche 29 juin.

Départ de Paris.

Lundi 30 juin.

Visite des *Ateliers de la Société Alsacienne*, à Belfort.

Visite des *Installations de la ville de Bâle*.

2^e SÉRIE, TOME II, 1902. — N° 18.

42

Mardi 1^{er} juillet.

Visite des *Établissements Alioth*, à Mœnchenstein.

Visite des *Ateliers électriques Brown, Boweri et Cie*, à Baden.

Mercredi 2 juillet.

Visite des *Ateliers d'OErlikon*, près Zurich.

Jendi 3 juillet.

Visite de l'*Usine de Rathaüsen*.

Excursion à Engelberg. *Usine génératrice du Tramway de Stanstadt à Engelberg.*

Vendredi 4 juillet.

Visite du *Chemin de fer électrique Berthoud-Thoune*.

Visite des *Installations électriques de la ville de Berne*.

Samedi 5 juillet.

Visite des *Installations du Chemin de fer Aigle-Leysin*.

Visite de l'*Usine des forces motrices de la Grande-Eau*.

Dimanche 6 juillet.

Visite des *Installations des forces motrices du Rhône (Usine du Bois-Noir)*.

Visite des *Installations de Lausanne et des Tramways lausannois*.

Lundi 7 juillet.

Visite de l'*Usine de Chèvres*.

Mardi 8 juillet.

Visite à l'*Usine d'Engins*, près Grenoble.

Réception à l'Institut électrotechnique de Grenoble. Conférences :

M. DUSSAUGEY. — *La protection des lignes aériennes contre les coups de poudre.*

M. LÉPINE. — *L'usine génératrice de Champ.*

Visite des installations de l'Institut électrotechnique.

Mercredi 9 juillet.

Visite de l'*Usine de Champ*.

Visite de quelques installations réceptrices de la *Compagnie Fure et Morge*.

Jeu*di* 10 juillet.

Visite de l'*Usine de Cusset (Société lyonnaise des forces motrices du Rhône)*.

Visite de l'*Usine de la Société française des câbles électriques (Berthoud, Borel et C^{ie})*.

Conférence de M. ROUTIN : *Les régulateurs automatiques et le compoundage électromécanique des groupes électrogènes*.

A ce programme, déjà bien chargé, il convient d'ajouter notre visite au Polytechnikum de Zurich. M. P. WEISS, notre compatriote, nous en a fait les honneurs et nous avons admiré les magnifiques installations du laboratoire de Mécanique appliquée où nous avons été reçus par M. STODOLA, professeur, et par M. FARNY, assistant pour la partie électrique. Faute de temps, nous n'avons pu, à notre grand regret, nous trouver au rendez-vous qu'avait bien voulu nous donner M. le professeur WEBER.

De plus, quelques-uns de nos élèves, qui, pour des raisons spéciales, n'avaient pu partir avec nous et ont rejoint le groupe à Saint-Maurice, ont pu visiter les installations de la ligne du Fayet à Chamonix. M. FAURE, chef de dépôt au Fayet-Saint-Gervais, avait été autorisé à leur en montrer tous les détails.

On voit que nous n'avons pas perdu de temps. En dressant ce programme, nous nous sommes efforcés de rassembler les exemples les plus remarquables de ce qu'on peut rencontrer dans l'industrie électrique. En 11 jours, en dehors de cinq ateliers de construction, nous avons pu étudier : les installations des villes de Berne, Lausanne, Bâle; le système série à Saint-Maurice-Lausanne; la station centrale moderne monophasée de Vouvry, si intéressante avec ses 920^m de chute, ses alternateurs à induit tournant ou à pôles tournants à grande vitesse périphérique (52^{ms})⁽¹⁾; deux stations centrales diphasées; quatre stations centrales triphasées; enfin, quatre installations de chemins de fer électriques ou de tramways interurbains à courant continu ou à courants triphasés.

L'organisation matérielle du voyage avait été confiée, pour la

(1) C'est parce qu'elle doit être couplée avec l'ancienne station d'Aigle, monophasée, que ce système a été adopté à la station centrale de Vouvry.

partie suisse, à l'agence Perrin et C^{ie}, de Lausanne. Nous n'avons eu cette année, comme les années précédentes, qu'à nous louer d'avoir eu recours à ses services.

Pour l'organisation matérielle, dans la région française, nous avons traité directement avec les hôtels. La bonne humeur et le puissant intérêt du voyage ont fait passer sur bien des inconvénients impossibles à éviter dans un voyage aussi rapide (1).

Pour l'organisation du côté technique, nous nous sommes adressés directement aux Sociétés, secondés, pour la partie suisse, par le distingué professeur de Lausanne, M. PALAZ, qui a bien voulu étudier avec nous notre programme, aidé par son infatigable et obligeant collaborateur, M. COTTIER.

Partout nous avons reçu le meilleur accueil. Nous sommes heureux d'adresser les remerciements les plus chaleureux de l'École à tous ceux qui se sont montrés si accueillants et plus particulièrement :

A M. GROSSELIN, Secrétaire général de la Société, qui a bien voulu nous donner *de visu* des explications sur la fabrication des câbles à l'usine de MM. Berthoud, Borel et C^{ie} (nous avons vu là un essai à 100 000 volts);

A M. ZWEIFEL, Ingénieur en chef des Services électriques à la *Société alsacienne*, qui, avec une bonne grâce inépuisable, s'est mis à notre disposition pour parcourir les importants ateliers qu'il dirige. Nous avons été heureux de retrouver là deux de nos anciens élèves, MM. CAZIN et GAY.

Une innovation, qui n'a pas été la partie la moins goûtée de ce cinquième voyage, a été l'organisation, en cours de route, de conférences. Trois ingénieurs ont répondu à notre appel.

M. DUSSAUGEY, Directeur de la *Société d'Énergie électrique de Grenoble et Voiron*, qui, en dehors des champs multiples où se dépense son activité, s'est fait une spécialité de la question des parafoudres, avait bien voulu nous entretenir de *La protection des lignes aériennes contre la foudre*.

(1) Il ne sera peut-être pas inutile de dire que les dépenses totales par tête se sont élevées à 257^{fr},20. La Compagnie du P.-L.-M. avait bien voulu nous accorder le parcours à demi-tarif sur son réseau.

M. LÉPINE, Directeur de la *Société de Fure et Morge*, a bien voulu nous faire une conférence très détaillée, accompagnée de nombreux clichés, sur l'*Usine génératrice de Champ* que nous devions visiter le lendemain. Cela nous a permis de tirer de notre visite le plus grand profit.

Ces deux conférences ont été faites dans la salle de cours de l'*Institut électrotechnique de Grenoble*, où M. COLLET et M. PIONCHON avaient bien voulu nous donner l'hospitalité.

Enfin, à Lyon, M. ROUTIN nous a exposé ses idées personnelles sur la question à l'ordre du jour des *régulateurs et du compoundage des groupes électrogènes*. Sa conférence a eu lieu dans une des salles du Palais du Commerce, mise à notre disposition par la Municipalité lyonnaise.

Nous avons pensé demander aussi à M. THURY une conférence sur le *Système série*, mais l'éminent ingénieur nous ayant donné l'assurance qu'il nous accompagnerait lui-même dans notre visite aux installations de Saint-Maurice et de Lausanne, nous ne pouvions demander mieux. M. Thury nous a rejoints à Saint-Maurice le samedi 5 juillet et il est resté notre compagnon de voyage jusqu'au lundi à midi. S'il ne nous a pas fait de conférence, au sens propre du mot, il a, pendant 30 heures, répondu, avec la grande bonté et la compétence que l'on sait, à toutes nos questions. Et cela a été pour nous un vrai régal que d'entendre M. Thury, que de le voir jouer avec des unités de 1000 chevaux, faisant passer la charge de la ligne d'un générateur à l'autre avec une désinvolture sans pareille, et mettant en phase des alternateurs de même puissance en tournant entre le pouce et l'index le bouton moleté de son régulateur.

Si le *Système série* paraît de loin, et du côté du moteur seulement, un peu compliqué, il donne, quand on le voit en œuvre, l'impression d'un système *achevé*, où tout a été prévu et étudié jusque dans les plus petits détails. Et nous avons emporté surtout de Saint-Maurice l'impression profonde de la confiance que ce matériel inspire au personnel qui le conduit.

Nous nous garderons de décrire, après tant d'autres, les usines que nous avons vues. Nous ne saurions rendre cette impression de vie, d'*Électricité en action*, que nos élèves ont été chercher dans les usines, comme un complément indispensable à d'arides études.

Mais nous avons pensé que les conférences qui ont été faites spécialement pour nos élèves pourraient intéresser d'autres techniciens. Et nous avons prié nos conférenciers, qui se sont exécutés de la meilleure grâce du monde, de nous donner leur texte pour les lecteurs du *Bulletin*. Nous prions MM. Dussaugey, Lépine et Routin de vouloir bien recevoir ici l'expression de toute notre gratitude.

LA PROTECTION DES LIGNES AÉRIENNES CONTRE LA FOUDRE ⁽¹⁾.

M. DUSSAUGEY. — « La protection des lignes contre la foudre est le plus important problème de ceux, bien nombreux déjà, qui se rencontrent dans l'exploitation des lignes aériennes. La foudre occasionne dans certaines exploitations des ravages considérables, et la lutte contre ce redoutable fléau a été, parfois, si rude à soutenir, qu'elle a entraîné de la part de quelques-uns de véritables actes de renonciation : tel celui de cet ingénieur américain, directeur d'une grande station centrale, qui, il y a quelques années seulement, déclarait, dans un moment de découragement, que, lorsqu'un orage éclate sur les réseaux, il faut se borner à se recommander à Dieu et à réparer les dégâts.

» Ce n'est évidemment pas dans cette formule fataliste et par trop simpliste qu'est la véritable solution du problème.

» *Causes des difficultés de protection.* — Les difficultés de protection contre la foudre sont d'autant plus grandes que les tensions de distribution sont plus élevées, d'une part parce que les parafoindres sont alors, par leur nature même comme nous le verrons, moins sensibles; d'autre part, parce que la haute tension est la caractéristique des grands réseaux, dont la longueur augmente les chances d'atteinte. Leur situation dans les pays montagneux, plus souvent et plus fortement frappés que les pays de plaine, aggrave encore ces difficultés.

» La mise en exploitation récente de ces grands réseaux explique que cette importante question n'ait pas encore reçu de solution parfaite, mais la principale raison de cet insuccès résulte du nombre considérable de dispositifs imaginés par les constructeurs, dispositifs généralement mal étudiés pour les hautes tensions, pour la plupart inutiles et dangereux, sur lesquels les exploitants se jettent sans discernement, qu'ils installent à tort et à travers sans le moindre souci des règles du bon fonctionnement, parachevant par une mauvaise installation l'inefficacité d'un mauvais appareil. Il ne faut donc pas s'étonner des déboires nombreux que l'on a signalés

⁽¹⁾ Voir au *Bulletin* de la Société, 1899, Vol. XVI, p. 184, la Communication de M. BOCHET sur le même sujet.

et que l'on signale encore de tous côtés, car la foudre, à de rares exceptions près, n'a pas été logiquement combattue. Ce n'est pas dans la recherche de dispositifs plus ou moins compliqués que git la solution du problème, mais bien, comme nous allons le voir, dans l'application logique et raisonnée des lois fondamentales de la circulation des courants.

» N'attendez donc pas la description d'appareils nouveaux, ni l'émission de théories nouvelles. Je veux simplement vous montrer que le respect des lois auxquelles je viens de faire allusion peut conduire à des résultats inespérés.

» *Théorie de la protection des lignes.* — L'éclair, vous le savez, est l'étincelle disruptive qui constitue la décharge d'un immense condensateur dont les armatures sont, soit deux nuages, soit un nuage et la terre. Comment ce condensateur se charge-t-il? Je l'ignore, et cela nous importe peu d'ailleurs.

» Ce qu'il importe de savoir, c'est que, lorsqu'un éclair jaillit au voisinage d'une ligne électrique aérienne, celle-ci se charge par induction électrodynamique. Je dis *au voisinage*, car il n'est nullement besoin que l'éclair tombe sur la ligne même pour que celle-ci soit influencée.

» Il est facile de constater en effet qu'un orage lointain fait *travailler* les parafoudres d'un réseau, mais non pas toutefois quelle que soit la distance. C'est ainsi qu'au cours d'assez nombreuses observations j'ai pu me rendre compte que de violents orages, se produisant à une distance de 5^{km} ou 6^{km} d'une ligne électrique, n'influençaient jamais cette ligne, tandis qu'à une distance de 1500^m à 2000^m tous les éclairs amorçaient les parafoudres de la ligne.

» Donc, dans une zone de 2^{km} à 3^{km} environ de part et d'autre d'une ligne électrique, on peut dire à peu près sûrement que chaque éclair chargera la ligne d'une façon sensible, le potentiel de cette charge inductive dépendant de la valeur du champ de force créé par l'éclair, c'est-à-dire de la puissance de l'éclair et de la distance à laquelle il jaillit (¹).

(¹) Les réseaux peuvent être atteints par le contact direct de l'éclair, mais ce cas est excessivement rare et je n'ai jamais eu occasion de l'observer. D'ailleurs je pense qu'aucun appareil ne serait susceptible de protection dans ce cas, car le métal des

» La ligne est donc chargée et c'est maintenant que le danger commence, car cette charge va chercher son écoulement vers le sol par le chemin le moins résistant, c'est-à-dire, généralement, par les machines, par les transformateurs, par les appareils de tableaux, par les isolateurs, en faisant sur son passage des dégâts considérables résultant tous de la rupture des isolants, si l'on n'a soin de la dévier sur un chemin moins résistant, spécialement disposé pour permettre l'écoulement dans le sol de cette charge accidentelle. Comment peut se réaliser ce chemin de moindre résistance? C'est ce que nous allons voir.

» Je n'ai nullement l'intention de vous donner l'analyse du phénomène de la décharge électrique à travers un conducteur. Je vous prie, si vous voulez des détails complets, de vous reporter aux travaux de M. Steinmetz, reproduits dans le Tome XVII, page 183, de *l'Éclairage électrique*.

» Je vous rappellerai seulement que M. Steinmetz a montré que la tension et l'intensité du courant de décharge ne sont généralement pas des fonctions sinusoïdales du temps, mais présentent des ondes périodiques complexes formées d'un certain nombre d'harmoniques dont les grandeurs relatives dépendent de la charge initiale et de sa distribution.

» La décharge d'un conducteur, chargé par influence à un certain potentiel, se fera donc par oscillations dont la période a pour valeur, d'après M. Steinmetz,

$$n = \frac{2k+1}{4l\sqrt{CL}} \quad (1),$$

lignes serait fondu, les isolateurs pulvérisés ou les poteaux brisés. Pour protéger les poteaux contre ces effets, on établit quelquefois sur chacun d'eux des paratonnerres ou pointes métalliques de 40^{cm} à 50^{cm} de longueur reliées par un fil de fer à une plaque métallique enfouie dans le sol. Je crois qu'il n'y a pas grand'chose à attendre de ce dispositif.

Les poteaux sont d'ailleurs si rarement foudroyés (je n'en connais que deux cas répartis pendant quatre années sur trois installations présentant ensemble plus de dix mille poteaux) que je considère ces précautions comme inutiles.

(1) La décharge oscillante d'un condensateur ordinaire à travers une self-induction sans résistance a pour fréquence $n = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}}$.

l étant la longueur du conducteur,

C ⁽¹⁾ sa capacité par rapport à la terre par unité de longueur,

L ⁽²⁾ son coefficient de self-induction par unité de longueur,

K un nombre entier ou nul.

» Il y a donc une infinité de fréquences pour les oscillations de la décharge, lesquelles sont des multiples impairs de la fréquence de la *décharge oscillante fondamentale* dont la valeur est

$$n_1 = \frac{1}{4l\sqrt{CL}} = \frac{\text{constante}}{l}.$$

» Elle est indépendante de D et de d et ne dépend que de la longueur de la ligne l .

Pour $l =$	1 ^{km}	M. Steiametz donne....	$n_1 = 75000 \sim$
»	5	»	15000
»	10	»	7500
»	20	»	3750
»	50	»	1500
»	100	»	750

» Si ce courant de décharge circule dans un conducteur de résistance R et d'inductance L , il rencontrera, comme vous le savez, une résistance apparente ou impédance qui a pour valeur

$$\sqrt{R^2 + L^2(2\pi n)^2}$$

en négligeant la capacité de la ligne, très faible lorsqu'il s'agit de conducteurs aériens.

» On voit que l'influence de la résistance ohmique R qui entre dans la formule avec le facteur 1 est négligeable à côté de l'inductance L qui a pour facteur le nombre très grand $2\pi n$.

(¹) On a

$$C = \frac{1,11 \times 10^{-6}}{2 \log_e 4 \frac{D}{d}} \text{ microfarads,}$$

D distance de l'axe du conducteur à la terre,

d diamètre du conducteur.

(²) On a

$$L = 2 \times 10^{-6} \log_e 4 \frac{D}{d} \text{ microhenrys.}$$

» C'est ce qui explique que la décharge résultant d'un coup de foudre en ligne, loin d'une station ou d'une sous-station, ne puisse se transmettre à travers l'inductance des conducteurs jusqu'aux appareils de cette station ou de cette sous-station, et prenne terre sur le parcours à travers les isolateurs (de grande résistance ohmique, il est vrai, mais sans inductance), qu'elle perce pour atteindre la ferrure et gagner la terre par le poteau.

» C'est ce qui explique de même la rupture des câbles armés établis dans le prolongement des conducteurs aériens, la décharge ayant plus de facilité à gagner la terre à travers l'isolant de grande résistance ohmique et de self nulle, qu'à suivre le conducteur de faible résistance, mais de grande inductance.

» C'est ce qui explique enfin la possibilité d'obtenir le chemin ou circuit de moindre résistance dont je vous parlais tout à l'heure, circuit dans lequel on intercalera le parafoudre proprement dit, et que l'on installera de manière qu'il ne présente aucune inductance (sans s'occuper de sa résistance ohmique), tandis que, au contraire, l'on créera sur le circuit à protéger une inductance artificielle qui opposera son *inertie électrique* au courant dangereux. Tout le secret du bon fonctionnement des parafoudres réside dans le respect absolu de cette règle.

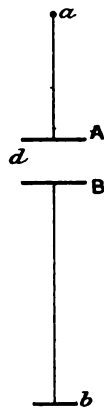
» Vous voyez bien, comme j'y vous le disais en commençant, qu'il ne s'agit nullement de théories nouvelles, mais bien de l'application des lois les plus élémentaires de l'Électrotechnique.

» *Parafoudre proprement dit.* — Avant de passer à l'examen des moyens pratiques à employer pour réaliser ces conditions absolues de bon fonctionnement, disons quelques mots du parafoudre lui-même. Vous savez qu'un parafoudre est constitué en principe (*fig. 1*) par un conducteur *ab* relié en *a* à la ligne à protéger, et en *b* au sol, ou, plus exactement, à une plaque métallique présentant avec le sol (espace au potentiel zéro) une *résistance de contact* aussi faible que possible. Dans le conducteur *ab* est intercalé un diélectrique *dé* limité par deux armatures A, B.

» Ce diélectrique, grâce à la propriété qu'il possède de se laisser traverser par les décharges disruptives, ne constitue pas une solution de continuité du conducteur *ab*, et c'est à travers sa masse que,

grâce à la tension anormale de la charge atmosphérique, le courant oscillatoire de décharge s'écoule dans le sol sous forme d'étincelle disruptive. Mais, comme il ne faut pas que le courant de ligne puisse prendre normalement le même chemin, sous l'effet de la tension de service, il est facile, connaissant la *rigidité* de ce diélectrique (c'est-à-dire le quotient en kilovolts par centimètre de la différence de potentiel qui produit une étincelle disruptive dans un milieu isolant

Fig. 1.



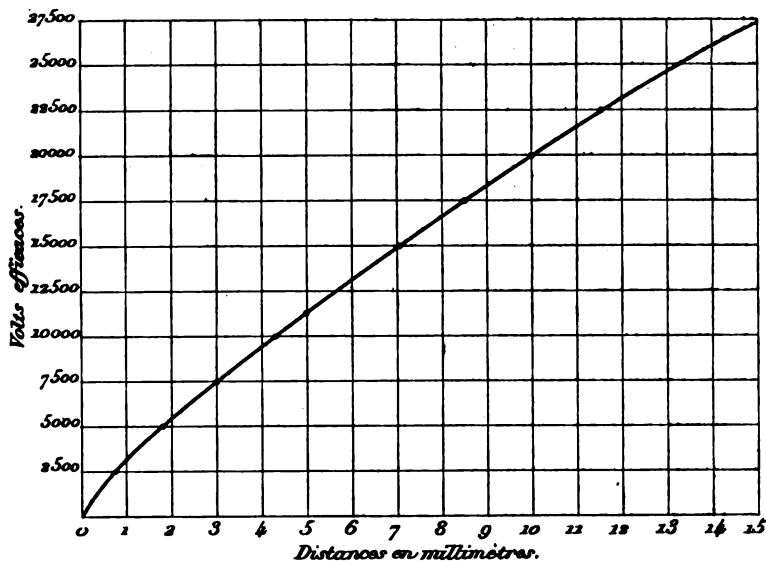
par la distance des deux armatures), il est facile, dis-je, de déterminer la distance AB par la condition que la tension normale du courant de ligne ne puisse pas provoquer d'étincelle disruptive. La sensibilité du parafoudre sera d'autant plus grande que la distance AB sera plus faible, c'est-à-dire que la tension de la ligne sera moindre, d'où plus grande difficulté de protéger les lignes à haute tension que les lignes à basse tension.

» La figure 2 représente le *diagramme des distances explosives entre deux armatures de parafoudre à cornes par température et humidité normales (courbe sinusoïdale)*. Il convient de doubler les valeurs de la distance explosive données par ce Tableau et, pour les petits voltages, il faut même les quadrupler si l'on veut éviter le fonctionnement intempestif de l'appareil sous l'effet des poussières en suspension dans l'air. En tous cas, la rigidité du diélectrique, sous la distance AB, doit être inférieure à la rigidité de l'isolant des machines à protéger. Les tensions du diagramme doivent être prises pour les tensions entre fils, puisque la tension entre chaque

ligne et le sol peut accidentellement devenir égale à la tension totale en cas de destruction de l'isolement des autres.

» Le circuit *ab*, chemin offert au passage de la décharge oscillante, ne doit, d'après ce que nous avons vu, présenter aucune

Fig. 2.



inductance. On le fera donc *rectiligne*, aussi court que possible, en un métal non magnétique et de grosse section.

» Quant à la plaque de terre *b*, elle doit représenter le *sol*, c'est-à-dire être au potentiel zéro ou s'en rapprocher le plus possible. Pour cela, il est tout naturel de lui donner, à la plus grande profondeur possible (3^m à 4^m), une *très grande surface de contact avec le sol* et d'assurer le *bon contact* en l'enveloppant d'une grosse masse de matières bonnes conductrices soigneusement pilonnées contre la plaque et dans les cavités du terrain.

» Cette plaque sera de préférence une plaque de cuivre de 3^m de section et de 3^{mm} à 4^{mm} d'épaisseur; la matière conductrice qui l'environne sera, par exemple, du coke pulvérisé humide. On arrivera ainsi, dans les terrains plus ou moins humides de plaine, à des résistances de contact de 8 à 10 ohms; dans les terrains rocheux de montagne, il est bien difficile de descendre en dessous de 20 ohms. Les plaques simplement noyées dans les cours d'eau constituent généralement de mauvaises terres.

» Nous sommes loin, avec ces précautions, vous le voyez, des parafoudres que vous pouvez encore voir installés sur d'assez nombreux réseaux avec des fils de terre en fer rond de 30 à 35/10, consciencieusement enroulés autour des poteaux et reliés à un morceau de fer informe enfoncé de quelques centimètres dans le sol.

Mais ce n'est pas tout, le parafoudre proprement dit doit être complété par deux pièces importantes : la *résistance ohmique* et l'*extincteur d'arc*, ou pare-étincelles.

» *Résistance ohmique.* — Quand une étincelle jaillit entre les deux armatures, le diélectrique (si c'est de l'air) devient conducteur en s'échauffant et la ligne est mise en contact avec la terre. Comme, généralement, les parafoudres d'une même batterie fonctionnent simultanément, toutes les lignes du réseau sont mises à la terre et il y a court-circuit entre les conducteurs par le sol. Il en résulte une violente perturbation sur le réseau, le voltage s'abaisse brusquement : ce n'est que lorsqu'il est au voisinage de zéro que le court-circuit cesse si les fusibles de protection n'ont pas déjà sauté. Cette perturbation est toujours accompagnée d'effets désastreux, parmi lesquels les plus redoutables sont les surtensions parfois très élevées, susceptibles de détruire l'isolant des machines ou de briser les isolateurs.

» Il faut donc atténuer le courant dérivé à la terre, en intercalant, sur son trajet, de grandes résistances ohmiques qui s'opposent au passage du courant du réseau à faible fréquence, sans arrêter la décharge oscillante à grande fréquence induite par les courants atmosphériques.

» J'ai obtenu de bons résultats en donnant à ces résistances une valeur, exprimée en ohms, égale à la valeur de la tension efficace simple, exprimée en volts, quand il s'agit de réseaux triphasés.

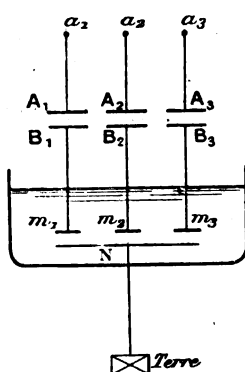
» La figure 3 montre leur constitution pour une ligne à trois fils. Les armatures B_1 , B_2 , B_3 sont reliées à trois électrodes en cuivre m_1 , m_2 , m_3 , séparées de l'électrode N par du sable constituant la résistance. L'électrode N est commune aux trois lignes et reliée directement à la plaque de terre.

» La résistance ne reste pas rigoureusement constante malgré les précautions prises, mais sa régénération est facile et peu coûteuse.

» La maison Brown-Boveri constitue ses résistances avec des tubes remplis d'eau. La *General Electric Co* emploie des bâtons de charbon.

» Quelques constructeurs installent encore sur le circuit de terre

Fig. 3.



des plombs fusibles qui fondent sous l'action du court-circuit. Ce moyen est des plus grossiers, car il ne supprime pas les perturbations dont j'ai parlé tout à l'heure, et il met le parafoudre hors service après la première décharge.

» *Pare-étincelles*. — Le pare-étincelles est un organe qui, ajouté aux armatures, a pour fonction d'empêcher le maintien de l'arc amorcé entre elles.

» L'emploi de la grande résistance ohmique dont je viens de parler facilite déjà beaucoup l'extinction de l'arc en limitant l'intensité du courant qui le produit.

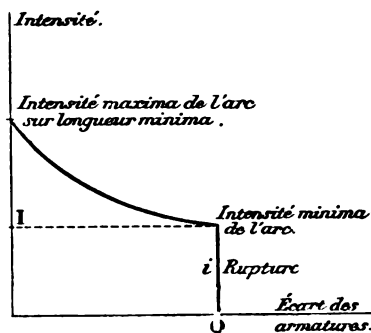
» Les pare-étincelles sont excessivement nombreux, mais le meilleur de tous, à mon avis, et en même temps le plus simple, est celui qui est basé sur le principe de l'*extinction de l'arc par écartement progressif et naturel des armatures*. On sait, en effet, d'après les travaux de M^{me} Ayrton (¹), que, pour une tension donnée et une certaine longueur d'arc, il existe une intensité minima, en deçà de laquelle le maintien de l'arc n'est plus possible. Dès lors, si l'on écarte les deux armatures l'une de l'autre au moment où l'arc

(¹) *Éclair. electr.*, t. IX, p. 109.

se produit, il arrivera un moment où l'intensité, qui décroît par suite de l'augmentation de résistance du conducteur, sera insuffisante pour maintenir l'arc, qui s'éteindra de lui-même (*fig. 4*).

» Cet écartement progressif et naturel des armatures peut être obtenu facilement en prolongeant celles-ci vers le haut par deux conducteurs s'éloignant l'un de l'autre suivant les deux branches d'un V. On obtient ainsi le *parafoudre à cornes* que vous connaissez bien, dans lequel l'allongement de l'arc est obtenu par son ascension entre les branches du V. Cette ascension est provoquée elle-

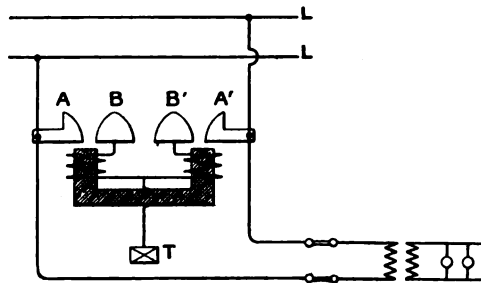
Fig. 4.



même par le courant d'air chaud qui souffle verticalement entre les branches sous l'influence de l'arc.

» Quelques constructeurs ajoutent à l'action du courant d'air chaud celle d'un champ magnétique intense dirigé de telle façon

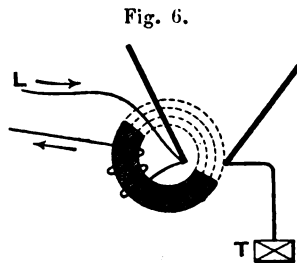
Fig. 5.



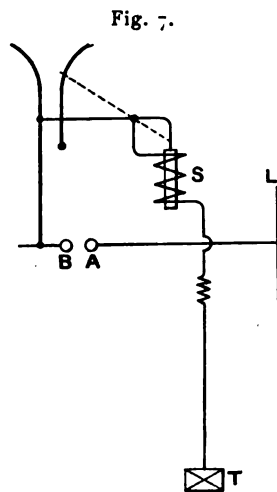
qu'il repousse l'arc vers le haut des antennes. [Parafoudre Elibu-Thomson (*fig. 5*). Parafoudre A.E.G (*fig. 6*).]

» D'autres constructeurs provoquent mécaniquement, générale-

ment à l'aide d'un électro-aimant parcouru par le courant de court-



circuit, l'écartement progressif des armatures. [Parafoudre de Deptford, London (*fig. 7*). Parafoudre Siemens et Halske (*fig. 8*).]



» Il existe enfin d'autres extincteurs d'arc basés sur différents principes ⁽¹⁾. Je les signalerai rapidement pour rendre ces documents aussi complets que possible, mais je m'empresse de vous dire dès maintenant que le meilleur de tous les systèmes est, sans conteste, le plus simple, c'est-à-dire le parafoudre à cornes qui se règle facilement, qui n'a aucune pièce mobile, dans lequel rien ne peut se dérégler ni se détériorer et qui, pratiquement, lorsqu'il est combiné avec une bonne résistance, éteint l'arc avec toute la sûreté désirable.

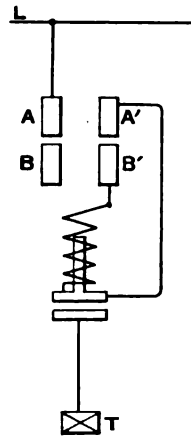
(¹) Ils sont décrits en détail dans l'Ouvrage du D^r Neesen, résumé dans l'*Éclairage électrique*, t. XXI, p. 468, 505.

» Voici donc rapidement l'énumération des autres systèmes d'extinction de l'arc :

» *a.* Extinction de l'arc dans un diélectrique spécial (huile, sable, etc.);

» *b.* Extinction de l'arc par subdivision du circuit (subdivision

Fig. 8.

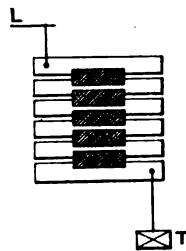


en série pour réduction du voltage; subdivision en parallèle pour réduction de l'intensité).

» La subdivision en parallèle appliquée au parafoudre à cornes sur les lignes à très haute tension donne d'excellents résultats.

» Le parafoudre Brown-Boveri est basé sur le principe de la subdivision en série (*fig. 9*) :

Fig. 9.

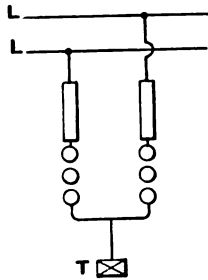


» Le parafoudre de Wirt, de la Compagnie Thomson-Houston, également (*fig. 10*).

» *c.* Extinction de l'arc par combinaison de la subdivision du courant et de l'emploi de métaux spéciaux (*anti-arcing meta's*). Ces

métaux spéciaux, à base d'antimoine ou de zinc, ont la propriété

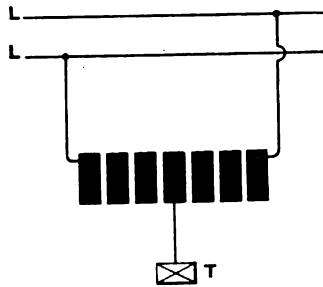
Fig. 10.



d'éteindre l'arc qui prend naissance à leur surface, par suite probablement de la formation d'oxydes non conducteurs :

» Parafoudre Wurtz, de la *General Electric Co* (fig. 11) :

Fig. 11.



» *d.* Extinction de l'arc par fusion d'une pièce de l'appareil :

» Parafoudre Labour.

» *c.* Parafoudre sans arc.

» Ce parafoudre est une simple résistance, de valeur élevée, généralement liquide, intercalée entre les lignes et le sol. Comme cet appareil entraîne une perte d'énergie d'autant plus notable que sa résistance est plus faible, on ne le met généralement en service qu'en temps d'orage :

» Parafoudre Gibbony ;

» Parafoudre Wurts (fig. 12).

» Quelquefois cependant, on laisse ces appareils constamment branchés sur les lignes. Ils opèrent alors la décharge continue du réseau qui peut être chargé par *influence électrostatique*, soit lorsqu'un nuage électrisé passe à proximité, soit lorsque les différentes

parties du réseau sont en contact avec des couches atmosphériques à potentiels différents (lignes de montagne). Ces charges électro-

Fig. 12.

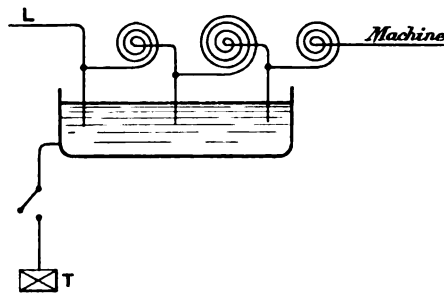
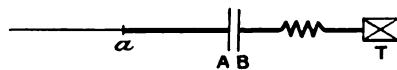


Fig. 13.



statiques ne sont généralement pas dangereuses pour les appareils, mais, par suite de circonstances favorables à leur action, elles peuvent le devenir et il est bon de s'en débarrasser soit avec les parafoudres liquides dont je viens de parler, soit avec des parafoudres à pointes entre lesquelles se produit la décharge sous forme d'effluves.

» *Montage des parafoudres.* — Ayant ainsi indiqué le meilleur mode de réalisation du parafoudre proprement dit, voyons maintenant quelle doit être sa disposition sur les lignes à protéger, car il ne suffit pas d'avoir un bon appareil, il faut encore savoir s'en servir, et savoir se servir d'un parafoudre c'est savoir le disposer sur le réseau.

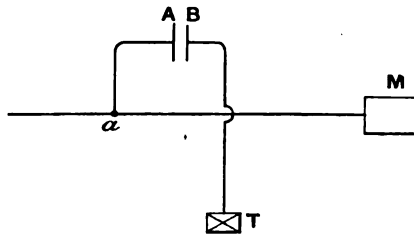
» Cette disposition doit être basée sur les principes que je vous ai rappelés au début de cette conférence, c'est-à-dire, étant donné que deux circuits sont offerts au passage de la décharge oscillante de haute tension et de grande fréquence induite par l'éclair, le circuit de la machine et le circuit de la terre, la branche du parafoudre doit être montée de telle façon qu'elle offre un passage facile et pour ainsi dire naturel à la décharge oscillante, tandis qu'un véritable écran doit être interposé sur la machine.

» Le circuit de la terre aT sera le chemin facile que l'on recherche

si l'on a soin de le disposer dans le prolongement même de la ligne à protéger et de le constituer comme je l'ai dit précédemment (*fig. 13*). Vous verrez au contraire la plupart des constructeurs préconiser l'emploi du dispositif de la figure 14.

» L'écran à installer sur la machine sera, vous le savez, une

Fig. 14.



grande inductance. En outre, l'isolement complet du sol de la machine à protéger augmentera l'épaisseur du diélectrique interposé entre la ligne et le sol à travers la machine et parachèvera sa protection.

» A ce propos, vous entendrez dire souvent que, pour éviter tout accident par contact direct, les machines et surtout les machines à haute tension doivent être soigneusement mises à la terre. Cette précaution est excellente, mais il est parfaitement inutile d'avoir constamment les machines à la terre et rien n'empêche de les relier momentanément au sol, quand on a à les toucher, à l'aide d'un interrupteur à poignée isolée. Pour le reste du temps, il n'y a qu'à les entourer d'une barrière pour éviter les contacts accidentels et d'un plancher isolant.

» Comment réalisera-t-on pratiquement cette inductance indispensable à la protection de la machine?

» Dans les installations où la haute tension est obtenue par l'emploi de transformateurs statiques, elle est acquise naturellement. C'est le transformateur lui-même qui joue le rôle d'écran entre la ligne et la machine et d'écran plus parfait que n'importe quelle bobine d'induction. Ce rôle du transformateur suffirait à justifier son emploi dans toutes les installations de transport par ligne aérienne, malgré l'augmentation des frais de premier établissement qui en résulte, augmentation apparente d'ailleurs, car les dégâts

causés par la foudre sur les machines à haute tension directe sont autrement coûteux que l'amortissement des transformateurs qu'il aurait suffi de placer pour donner à l'installation plus d'élasticité et plus de sécurité.

» Le transformateur est d'ailleurs aujourd'hui un instrument si merveilleux, si réduit de dimensions par le refroidissement artificiel, d'un rendement si élevé, d'un entretien si facile, qu'on a peine à s'expliquer le succès dont jouissent aujourd'hui les machines à haute tension directe (on en cite à 30000 volts), succès passager je crois, car a-t-on bien songé en les établissant sur les réseaux aériens au terrible ennemi qu'est la foudre?

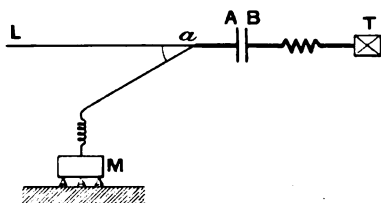
» Pour la protection de ces machines à haute tension directe, l'emploi des bobines de self est tout indiqué et la Compagnie Westinghouse en fait un usage constant.

» Mais, outre que ces dispositifs sont coûteux, ils ne sont pas applicables aux batteries de parafoudres aériennes qui sont les plus nombreuses sur un réseau.

» J'ai obtenu d'excellents résultats avec les dispositifs simples, représentés schématiquement ci-après, dans lesquels l'inductance est simplement obtenue à l'aide d'angles vifs que l'on fait parcourir à la ligne.

» La figure 15 représente la protection d'un appareil M placé en

Fig. 15.

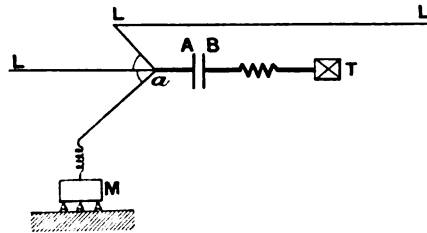


bout de ligne. Il semble préférable, dans tous les cas, de placer les parafoudres hors du bâtiment qui renferme les machines à protéger, car on facilite l'installation de l'appareillage intérieur; on peut réduire les dimensions du poste et écarter toute chance d'incendie ou d'accident par le développement de l'arc.

» La figure 16 représente la protection d'un appareil situé en pleine ligne.

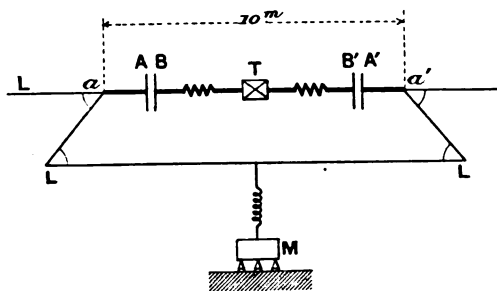
» Si l'appareil à protéger est important (sous-station ou usine

Fig. 16.



branchée sur le réseau), ou s'il est situé dans une partie dangereuse

Fig. 17.



de la ligne, il est bon de le protéger des deux côtés par le dispositif de la figure 17. On voit sur la figure précédente que la terre peut, sans inconvénient, être commune aux deux groupes de parafoudres. Mieux encore, on peut rapprocher les deux groupes l'un de l'autre et confondre les deux armatures B et B' en une seule. On obtient alors le dispositif très simple et très économique représenté par la

Fig. 18.

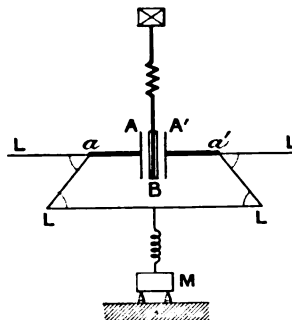


figure 18. C'est un parafoudre à trois cornes (*fig. 19*) dont la corne

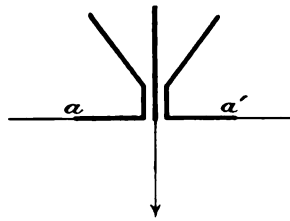
médiane est droite et reliée à la terre, tandis que les cornes latérales sont reliées à la ligne.

» On peut, comme variante, leur donner la forme 20.

» La figure 21 représente le montage sur poteau d'un parafoudre à trois cornes.

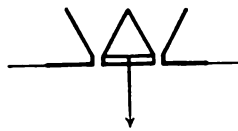
» La protection des lignes elles-mêmes s'obtient par des dispo-

Fig. 19.



sitifs analogues, car les lignes ont besoin, elles aussi, d'être pro-

Fig. 20.



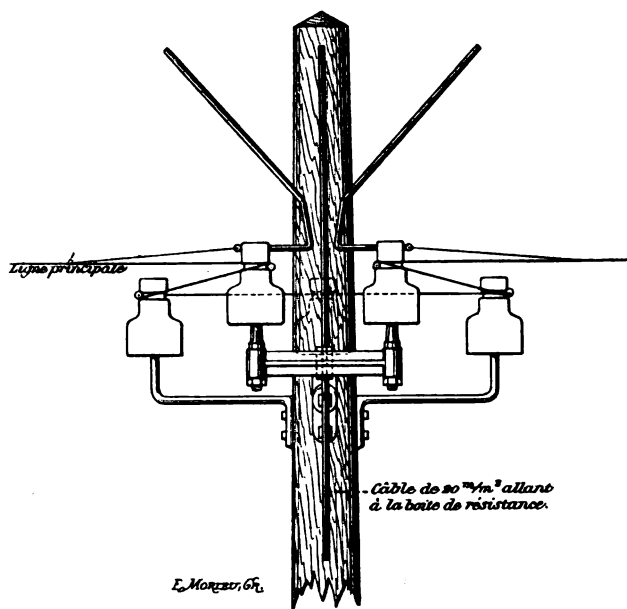
tégées. On constate, en effet, après les orages, sur les lignes sans parafoudres, qu'un plus ou moins grand nombre d'isolateurs sont cassés à la gorge ou simplement percés d'un trou à peine visible mettant la ligne en communication avec la ferrure de l'isolateur. Comme cet accident ne se produit que sur les poteaux en fer sur lesquels la ferrure de l'isolateur est en contact direct avec le fer et sur les poteaux en bois munis d'un paratonnerre à pointe dont le fil de terre est en contact accidentel avec les boulons des isolateurs, il est facile de se rendre compte que l'isolateur joue dans ce cas le rôle de parafoudre, le diélectrique étant la porcelaine intercalée entre le conducteur et la ferrure qui est reliée à la terre.

» Cet accident est généralement accompagné de l'incendie du poteau, par suite de la naissance d'un arc, dû au courant de court-circuit, entre les ferrures dont le contact n'est pas toujours franc et se produit à travers une petite épaisseur de bois humide. Il est

inutile d'ajouter que de tels accidents entraînent l'arrêt du réseau pendant plusieurs heures.

» Les lignes ont donc besoin d'être protégées comme les appa-

Fig. 21.

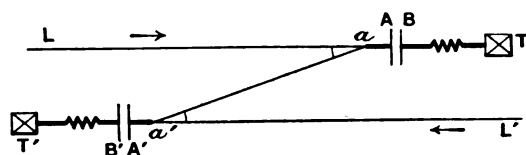


reils, c'est-à-dire de présenter, en certains points de leur parcours, des chemins d'écoulement faciles vers le sol.

» Le parafoudre à trois cornes, que j'ai décrit précédemment, donne d'excellents résultats; il protège la ligne dans les deux directions. Son montage sur poteaux est simple et peu coûteux.

» Dans un cas particulier, en un point du réseau plus fréquemment frappé que les autres, j'ai dû donner à ce dispositif une importance plus grande en le constituant comme l'indique la figure 22.

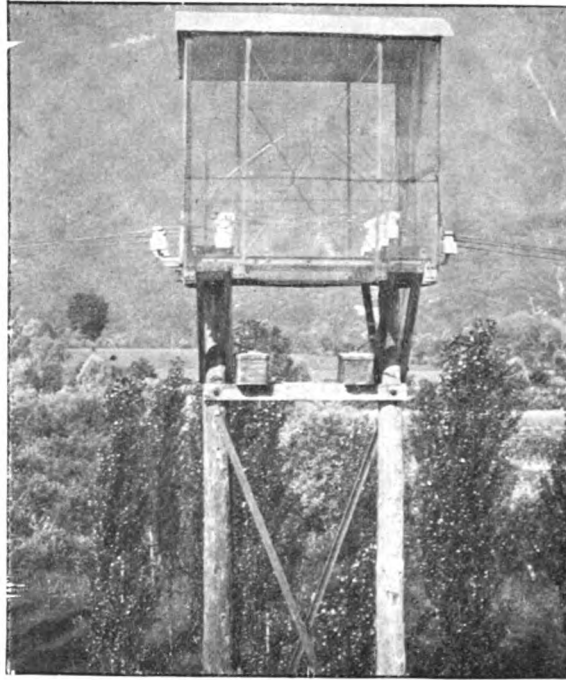
Fig. 22.



Chaque direction L et L' aboutit à un parafoudre spécial $\overline{AB}$ et $\overline{A'B'}$.

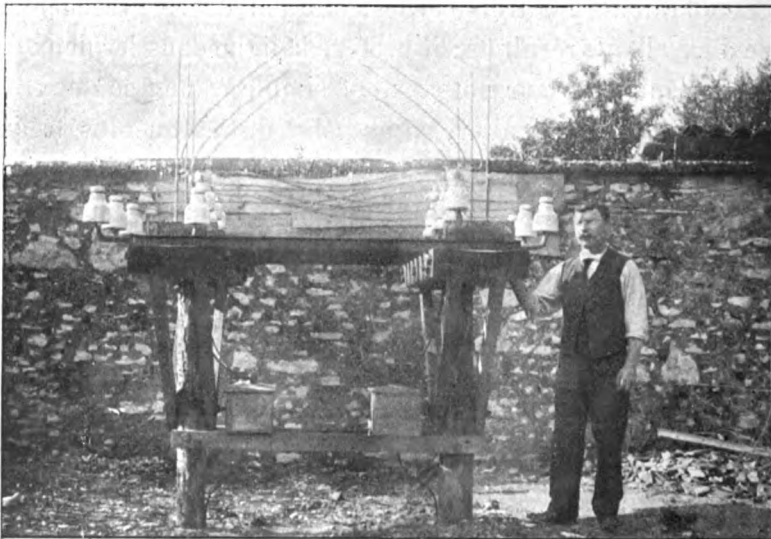
» L'appareil complet pour une ligne à trois fils est assez volumi-

Fig. 23.



neux; il est complètement enfermé dans une toile métallique pour

Fig. 24.



éviter le contact des objets étrangers, et est monté sur deux poteaux (*fig. 23 et 24*). Comme il est coûteux, on ne pourrait songer à le multiplier sur le réseau; le petit modèle est d'ailleurs suffisant, et il faut réserver celui-ci pour les points particulièrement dangereux.

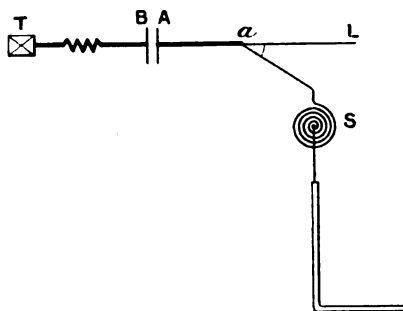
» *Emplacement des parafoudres.* — Nous venons de voir comment on constitue de bons parafoudres et comment on doit les installer. Il s'agit de savoir maintenant où l'on doit les installer.

» Ce sera en premier lieu, bien entendu, partout où il y a des appareils à protéger et le plus près possible de ces appareils (usines génératrices, sous-stations de transformation, postes de transformateurs aériens, etc.).

» On en placera également au point de jonction d'une ligne aérienne et d'une ligne souterraine. Les dispositions, dans ce cas, devront être très soignées, car une ligne souterraine constitue par elle-même un excellent parafoudre : ce n'est pas autre chose, en effet, qu'une armature en cuivre (conducteur) séparée par un diélectrique d'une autre armature, en fer ou en plomb, en contact parfait avec le sol sur une grande longueur. Cet ensemble constitue un condensateur, de capacité appréciable, parfaitement apte à absorber les décharges aériennes qui s'écouleront à la terre en perçant l'isolant. Il sera donc indispensable d'intercaler un écran sérieux sur la ligne souterraine.

» Le dispositif de la figure 25 donnera de bons résultats; on y

Fig. 25.



voit un angle et une bobine de self dont l'importance dépend de la ligne à protéger.

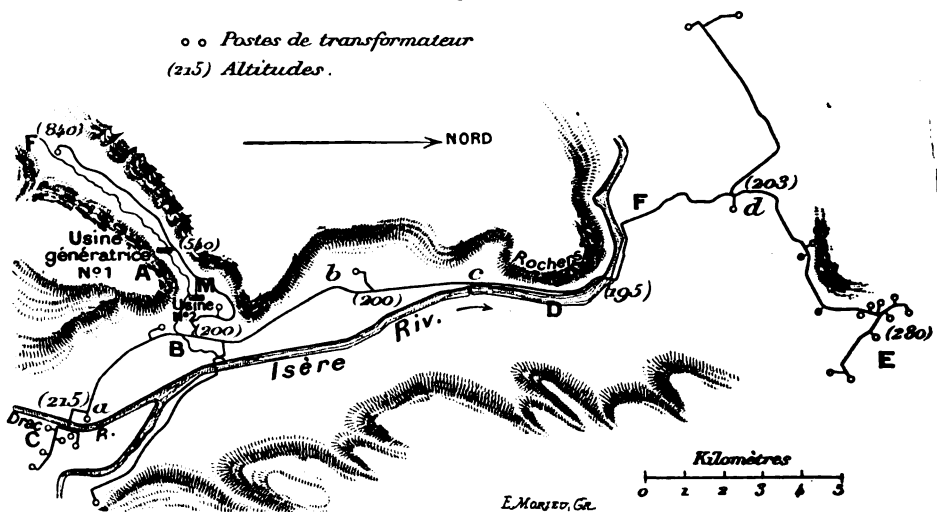
» On placera enfin des parafoudres en pleine ligne pour la protéger, ainsi que je l'ai dit tout à l'heure.

» Certains constructeurs n'hésitent pas à couvrir les réseaux de parafoudres placés régulièrement à 1^{km} ou 2^{km} les uns des autres. Il y a là, à mon avis, excès de précaution, excès coûteux et même dangereux, car cette multitude de parafoudres, tout en demandant beaucoup d'entretien, crée trop de points faibles sur le réseau.

» D'ailleurs, si l'on relève soigneusement, après chaque orage, les points des lignes qui ont été atteints par les décharges, ce que l'on reconnaît aux isolateurs cassés, on constate que ces points sont toujours à peu près les mêmes.

» C'est ainsi que sur la ligne d'Engins à Voiron et Grenoble (*fig. 26*) les dégâts se produisirent toujours entre A et M (à la sortie

Fig. 26.



des gorges) et entre D et F (point le plus bas de la ligne et au voisinage de l'Isère).

» Sur d'autres lignes j'ai pu constater aussi cette affection spéciale de la foudre pour certaines régions, mais ces régions ne paraissent pas avoir de rapport géologique ou topographique déterminé avec les premières (mes observations ne sont du moins pas encore assez nombreuses pour en avoir trouvé un). De sorte que, s'il est incontestable qu'il existe dans un pays des régions plus dan-

gereuses que d'autres, il n'est pas possible, pour l'instant, d'établir de règle permettant de les prévoir au moment de l'établissement d'une ligne.

» Je vous fais seulement remarquer que, dans notre cas, ces régions sont : 1° le point bas de la ligne (D), qui est en même temps au voisinage d'une rivière et à l'ouverture de la vallée ; 2° le point M, qui est à la sortie d'une gorge resserrée.

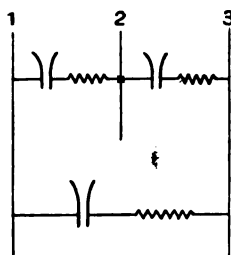
» Il est donc incontestable que toutes les parties d'une ligne ne sont pas frappées avec la même intensité et il est naturel de reporter tous ses efforts sur les régions dangereuses qu'une expérience de quelques mois ne tardera pas à faire connaître.

» Est-il besoin de dire, en dernier lieu, que tous ces appareils demandent une surveillance rigoureuse et un entretien soigné, malgré toute la simplicité de l'appareil dont on a fait choix ; il faut en particulier s'assurer souvent que la distance entre les armatures n'a pas varié et que leur surface n'a pas subi d'altération.

» *Parafoudres entre conducteurs.* — Je terminerai cette conférence, Messieurs, par quelques mots sur les parafoudres entre conducteurs.

» Les parafoudres entre conducteurs et terre, que nous venons

Fig. 27.



d'étudier, ont pour but de canaliser dans le sol les courants de haute tension résultant des décharges atmosphériques.

» Mais ils ne sont pas suffisants pour protéger les machines contre tous les courants de haute tension accidentels susceptibles de prendre naissance dans un réseau.

» Ces courants de haute tension accidentels sont dus à plusieurs causes :

» 1° Soit à de faibles décharges atmosphériques insuffisantes pour faire fonctionner les parafoudres normaux;

» 2° Soit à un contact accidentel du réseau avec un réseau étranger à tension plus élevée;

» 3° Soit à des phénomènes de résonance dus à l'action simultanée de la capacité et de la self-induction dans les réseaux souterrains;

» 4° Soit aux variations brusques du régime de marche (mise en marche brusque du réseau, arrêt du réseau en charge, rupture d'un court-circuit, etc.).

» D'après M. Steinmetz, des phénomènes de résonance avec l'onde de la force électromotrice normale n'existeraient pas dans les réseaux; les surtensions seraient dues aux perturbations dans les conditions de régime du circuit.

» Vous trouverez dans les nos 242 et 243 de l'*Industrie électrique* la très intéressante étude de M. Boy de la Tour sur ce sujet. En voici les conclusions :

» 1° Les surtensions dans les réseaux sont dues aux perturbations dans les conditions de régime du circuit; 2° ces phénomènes sont indépendants de l'onde de la tension normale et dépendent uniquement des conditions dans lesquelles s'effectue cette perturbation et principalement du point précis des ondes de la force électromotrice et du courant où cette perturbation se produit; 3° les oscillations qui naissent en reliant la ligne à la génératrice ne sont pas dangereuses, mais celles qui accompagnent l'ouverture d'un circuit en pleine charge le sont; 4° les oscillations produites par la rupture d'un court-circuit produisent des surtensions auxquelles aucun isolant ne peut résister; 5° si l'ouverture en charge ou la rupture en court-circuit se produisent au moment où l'onde du courant passe par zéro, les surtensions résultantes restent modérées.

» Pour éviter la rupture des isolants par suite de ces phénomènes il faut recourir à l'emploi d'appareils de sûreté qui seront de véritables parafoudres, branchés entre les fils, et présentant entre leurs armatures une résistance (rigidité) moindre que l'isolement normal.

» Les parafoudres déjà décrits, branchés entre conducteurs et

terre, pourraient remplir ce rôle, mais ils ne sont pas suffisamment sensibles. Il faut alors recourir à des appareils très sensibles, dont la distance entre armatures pourra être rigoureusement réglée et facilement vérifiée. On se servira, pour déterminer cette distance, du diagramme (*fig. 2*) et on la réglera de telle sorte que l'appareil fonctionne à une tension de 20 à 30 pour 100 supérieure à la tension normale.

» L'appareil lui-même ne présente rien de particulier; il peut être un simple parafoudre à cornes avec ou sans soufflage magnétique.

» Des résistances seront également intercalées dans le circuit pour diminuer l'importance du court-circuit. J'ai eu de bons résultats en leur donnant une valeur en ohms égale à la valeur de la tension efficace entre fils en volts et en les construisant sur le même modèle que les résistances des parafoudres ordinaires.

» L'application des dispositifs que je viens de vous décrire nous a donné d'excellents résultats. Il suffit, pour s'en convaincre, de comparer les diagrammes de la marche de l'usine au cours des orages, il y a deux ans, c'est-à-dire avant l'organisation nouvelle, et les mêmes diagrammes obtenus aujourd'hui par les orages les plus violents.

» Je crois, Messieurs, qu'il serait audacieux de ma part de chercher à tirer de ce qui précède des règles générales et précises pour la protection des réseaux, susceptibles d'être données comme enseignement. Je n'ai pas l'autorité suffisante pour cela et d'ailleurs deux années d'essais isolés ne sont pas assez probantes.

» Il me semble cependant qu'un travail de ce genre serait d'une utilité incontestable. Il conviendrait, pour le mener à bien, que les directeurs de stations centrales dressassent une statistique soignée des accidents dus à la foudre avec indication des emplacements atteints, de la marche de l'orage, de son intensité et de sa situation par rapport à la ligne, des résultats de l'atteinte, du fonctionnement des parafoudres; en un mot, de tous les faits intéressant le phénomène. Si M. Pionchon, l'éminent directeur de l'Institut électrotechnique, voulait bien se charger de dresser les éléments d'une pareille enquête et de centraliser les résultats, j'ai la conviction que les exploitants de notre région, si riche déjà en transports d'énergie

à grande distance, et peut-être aussi tous les exploitants français, répondraient avec empressement à son appel, et j'ai la conviction aussi que M. Pionchon saurait tirer de ces résultats des enseignements précieux. C'est en exprimant ce vœu que je terminerai cette conférence dont la longueur demande des excuses que je vous fais bien volontiers. »

L'USINE GÉNÉRATRICE DE CHAMP.

M. LÉPINE. — « Messieurs, M. Pionchon, le savant et distingué directeur de l'Institut électrotechnique de Grenoble, nous a fait part, il y a quelques jours, de votre désir de visiter l'usine génératrice de Champ, ainsi que les différentes parties des installations faites par la Société hydro-électrique de Fure et Morge.

» Nous serons très heureux de vous faire demain les honneurs de cette importante installation, dans laquelle nous nous sommes appliqués à réaliser les derniers perfectionnements, tant au point de vue hydraulique qu'au point de vue électrique.

» Pour vous permettre de visiter avec plus d'intérêt nos installations, nous allons vous exposer aujourd'hui, sans prétention et sans entrer dans trop de détails théoriques, tout ce qui constitue le transport de force motrice établi par la Société hydro-électrique de Fure et Morge. Cette Société a édifié à 13^{km} de Grenoble, au confluent du Drac et de la Romanche, une usine hydro-électrique empruntant d'une part la force productrice au Drac, distribuant d'autre part la force électrique produite aux nombreuses usines échelonnées le long des vallées industrielles de la Fure et de la Morge, d'où le nom de *Fure et Morge* donné à la Société.

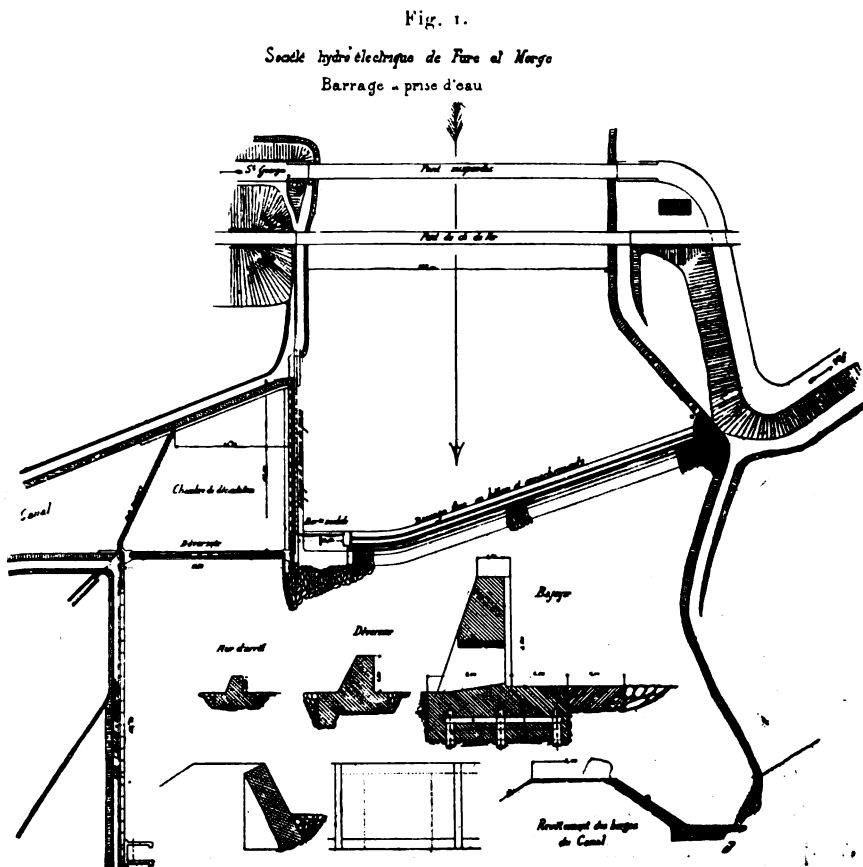
» Le Drac, qui alimente les turbines de l'usine de Champ, est un torrent capricieux qui prend sa source dans les Hautes-Alpes et se jette dans l'Isère, en aval de Grenoble. La longueur du lit de ce torrent est d'environ 130^{km} et la surface de son bassin, malheureusement très peu boisé, est de 2000^{km}².

» Ses principaux affluents, en amont du barrage de Saint-Georges-de-Commiers, sont : dans le département des Hautes-Alpes, la Séveraissette et la Séveraisse ; dans le département de l'Isère, la Bonne, la Roizonne, la Souloise et l'Ebron. La pente du Drac, sur les 20^{km} qui précèdent l'usine de Champ, est de 7^{mm} par mètre. Son débit est très variable ; il peut être réduit à 20^m³ en basses eaux, comme il peut atteindre 1200^m³ en très hautes eaux. Les crues se produisent avec une rapidité extraordinaire qui rend très difficiles les travaux

de construction de barrages. On admet généralement 30^m^3 à l'étiage; cependant, dans les années de sécheresse très grande, le débit peut descendre au-dessous de 20^m^3 . En décembre 1899, un jaugeage fait au pont de la Rivoire nous a donné 19^m^3 ; il est vrai que, 8 jours après, le débit s'élevait à 700^m^3 .

» La prise d'eau qui alimente l'usine de Champ est établie en aval du pont de la Rivoire, pont situé sur la ligne du chemin de fer de Grenoble à Gap par Veynes. Cette prise se compose d'un barrage fixe, d'un barrage mobile, d'un bajoyer de prise, d'un canal de dérivation et d'une chambre d'eau, point de départ de la canalisation forcée aboutissant à l'usine (*fig. 1*).

» Le barrage fixe est en béton; c'est un massif d'une longueur



de 130^m , d'une largeur de 12^m et d'une épaisseur variant de 2^m à 5^m suivant le profil transversal du Drac. Ce massif de béton est

recouvert d'un pavage rudimentaire en gros enrochements pour empêcher les graviers charriés par le torrent de désagréger le béton. C'est d'ailleurs un simple barrage de prise, n'ayant qu'une hauteur de 1^m,50 à 2^m au-dessus du lit du torrent ; il réunit la rive gauche du Drac à la pile fondée en rivière qui sert d'union entre le barrage fixe et le barrage mobile.

» Le barrage mobile, qui a 16^m d'ouverture, est composé de deux vannes de 8^m de longueur et de 1^m,50 de hauteur. Ces vannes sont manœuvrées d'une passerelle métallique prenant appui d'une part sur la pile, d'autre part sur le couronnement du mur de bajoyer. Une aiguille métallique sert de support intermédiaire à la passerelle et de point d'appui aux glissières des vannes. Ce barrage mobile a pour but de maintenir le courant le long du bajoyer, afin d'éviter le dépôt du gravier devant les grilles. Le Drac charrie en effet des quantités considérables de gravier, et il faut prendre des dispositions toutes spéciales pour éviter qu'il ne se dépose devant les grilles et n'entre dans le canal de dérivation.

» Le mur de bajoyer est en béton de ciment ; il a une longueur de 80^m et est percé de 15 ouvertures de 2^m de largeur sur 1^m,50 de hauteur qui peuvent être fermées par des vannes. Une grille de forme spéciale est installée tout le long de ce mur, du côté du Drac ; elle est composée de lames de fer disposées en persiennes, de façon que les cailloux, cheminant le long de ces lames et entraînés par le courant produit par l'ouverture du barrage mobile, ne puissent pénétrer dans le canal de dérivation.

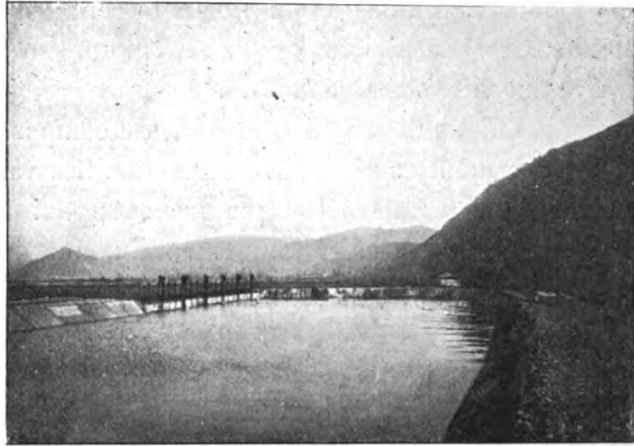
» Le mur de bajoyer est fondé sur pilotis ; le barrage mobile repose sur un caisson descendu à 9^m de profondeur au moyen de l'air comprimé.

» Le canal de dérivation, qui reçoit l'eau ayant passé par les ouvertures du bajoyer, a une longueur de 600^m et une largeur variant de 60^m à 22^m avec une profondeur allant en croissant depuis 1^m,50 jusqu'à 4^m. Ce canal est exécuté partie en déblai, partie en remblai ; ses parois latérales sont garnies d'un revêtement de béton de chaux hydraulique ; la pente du fond du canal est de 4^{mm} par mètre.

» La chambre d'eau qui sert de point terminus au canal de dérivation, et de point de départ à la canalisation sous pression, est en

béton de ciment (*fig. 2*); elle a une surface totale de 900^{m²} et une

Fig. 2.



profondeur moyenne de 4^m. Cette chambre est divisée en deux compartiments : le premier, qui reçoit directement l'eau du canal, est destiné à retenir les sables entraînés par les eaux. Ces sables sont évacués au moyen de rigoles convenablement aménagées dans la sole de la chambre, rigoles aboutissant à six vannes de chasse placées dans le mur gauche de la chambre d'eau, mur disposé en forme de déversoir. Un canal de vidange rejette ces sables au Drac, en même temps que les eaux qui passent sur le déversoir. Un mur de décantation, surmonté d'une grille à feuilles, sépare le premier compartiment du second, auquel vient se souder le tuyau en béton armé formant la première partie de la canalisation sous pression. Une vanne de 3^m,50 sur 4^m permet de fermer à volonté l'entrée du tuyau. La lame d'eau surmontant la génératrice supérieure de l'intrados du tuyau a une épaisseur de 2^m,70, de façon à éviter les rentrées d'air. L'entrée du tuyau est d'ailleurs évasée en forme de trompe pour faciliter l'introduction régulière de l'eau.

» Telle est, rapidement décrite, la prise d'eau. Passons à la canalisation, très importante dans le cas particulier, qui réunit la chambre d'eau à l'usine génératrice.

» Cette canalisation est formée d'un tuyau de 3^m,30 de diamètre intérieur et de 4600^m de longueur, dont 2100^m en béton armé et 2500^m en tôle d'acier doux.

» La partie en béton armé est destinée à supporter les pressions jusqu'à 20^m de hauteur d'eau ; c'est un tuyau dont l'épaisseur varie de 0^m,20 à 0^m,25 ; le treillis composant l'armature métallique est formé de mailles de 0^m,10 sur 0^m,11 (*fig. 3*). Les directrices sont

Fig. 3.



des fers ronds dont le diamètre varie de 11^{mm} à 22^{mm},5 ; les génératrices sont également des fers ronds dont le diamètre varie de 6^{mm} à 12^{mm}. Le tuyau repose sur un berceau de béton de

Fig. 4.



0^m,30 d'épaisseur moyenne, reposant lui-même sur le gravier de telle façon que le tuyau soit enterré de 2^m (*fig. 4*).

» Le tuyau de tôle qui fait suite au tuyau de ciment armé est composé de feuilles de tôle d'acier doux dont l'épaisseur varie de 7^{mm} à 15^{mm}; ces feuilles sont assemblées au moyen de rivets. Le tuyau repose sur un berceau en béton de 0^m,50 d'épaisseur moyenne enterré dans le sol.

» Nous croyons que c'est la première fois qu'a été employée cette méthode de faire reposer une conduite métallique de grand diamètre sur un berceau en béton enterré dans le sol. Cette disposition présente cependant le très grand avantage d'empêcher la déformation du tuyau pendant l'opération délicate du remplissage et nous a donné d'excellents résultats. De plus, les conduites étant recouvertes d'une couche de terre et de gravier de 0^m,40, les effets de dilatation ne sont plus à redouter.

» La masse d'eau en mouvement dans toute la longueur du tuyau étant de 40000^m³ se déplaçant avec une vitesse de 2^m à la seconde, il était nécessaire de prévoir des dispositions spéciales pour éviter les coups de bélier en cas d'arrêt brusque de l'usine. Nous avons, à cet effet, installé sur le tuyau trois cheminées, dont deux en béton armé et une en tôle. Les cheminées en béton armé ont respectivement des hauteurs de 9^m et de 20^m. Celle de 9^m est située à 400^m de la chambre d'eau; celle de 20^m est située au point d'union de la conduite en tôle et de la conduite en béton armé. Elle a 1^m,10 de diamètre intérieur et porte autour de son soubassement un réservoir, également en béton armé, destiné à recevoir l'eau qui pourrait s'écouler le long de ladite cheminée.

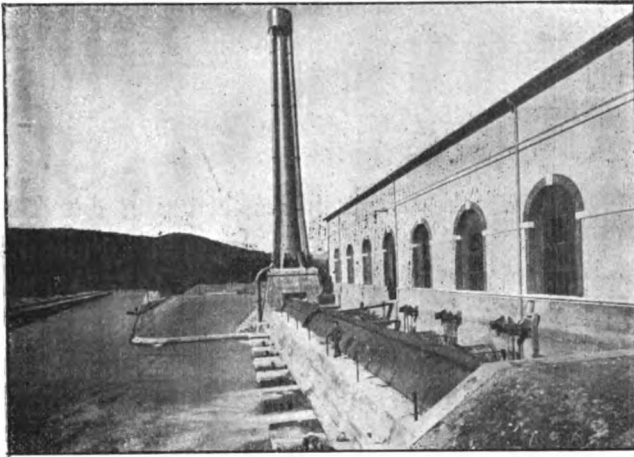
» La cheminée en tôle, de 35^m de hauteur, 3^m,30 de diamètre à la base et 1^m,40 au sommet, est installée à l'extrémité du collecteur, dont elle est en réalité le prolongement : elle est reliée avec lui au moyen d'un coude arrondi et sa partie supérieure est à la cote 300^m,60 (*fig. 5*). Cette cheminée est surmontée d'un réservoir, également en tôle d'acier, de 3^m de diamètre et de 2^m de hauteur, duquel partent trois tuyaux de 0^m,60 de diamètre qui descendent à l'extérieur de la cheminée pour aboutir au canal de fuite. Ces tuyaux sont destinés à écouler l'eau qui pourrait monter dans le réservoir à la suite des coups de bélier.

» Enfin, des vannes compensatrices, dont nous expliquerons plus loin le fonctionnement, et un amortisseur d'un type spécial

empêchent la production de surpressions dans la canalisation, ou tout au moins en diminuent l'importance.

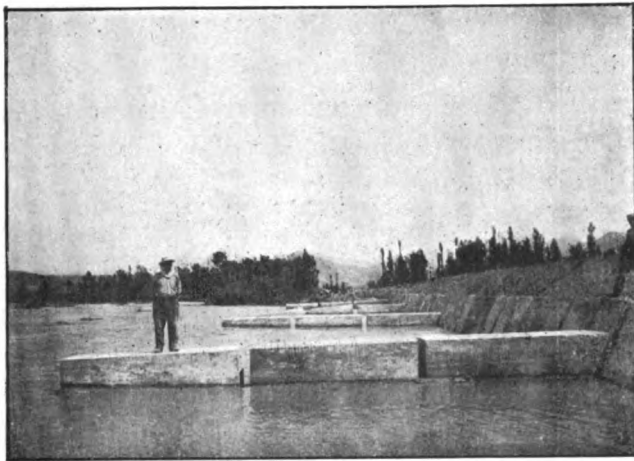
» Ajoutons, pour terminer la description de la canalisation, que,

Fig. 5.



pour la protéger contre les invasions du Drac, des épis de protection, des blocs de béton de grande dimension et des enrochements naturels

Fig. 6.



ont été disposés aux points menacés, empêchant les affouillements du Drac de venir compromettre la solidité du tuyau (*fig. 6*).

» Nous arrivons à l'usine génératrice.

» Le bâtiment d'usine (*fig. 7*) a une surface de 1000^{m²}; il est situé à 600^m environ du confluent du Drac et de la Romanche, à 13^{km} de la ville de Grenoble.

» Éclairée par de grandes baies vitrées, la salle des machines a 44^m de longueur sur 12^m de largeur; un pont roulant, capable de soulever un poids de 15 tonnes, peut circuler sur toute la longueur de la salle, rendant très faciles les réparations et démontages du matériel. Dans le sous-sol, placée directement sous les alternateurs, se trouve la galerie des câbles reliant les alternateurs aux tableaux.

» En avant de la salle des machines, et également dans le sous-sol, se trouve la salle des transformateurs, munie d'une distribution d'eau sous pression pour le refroidissement du bain d'huile de ces appareils. Une voie ferrée située dans cette salle permet de transporter facilement les transformateurs dans l'atelier de réparations et de visite desservi par un pont roulant de 10 tonnes.

» Au premier étage se trouvent : au centre, la salle des tableaux et des parafoudres; à droite, les bureaux du chef d'usine, les téléphones et le magasin; à gauche, le logement du chef d'usine.

» Toutes les fondations de ce bâtiment important sont en béton de ciment reposant sur le gravier; 4800^{m³} de béton ont été employés dans ces fondations.

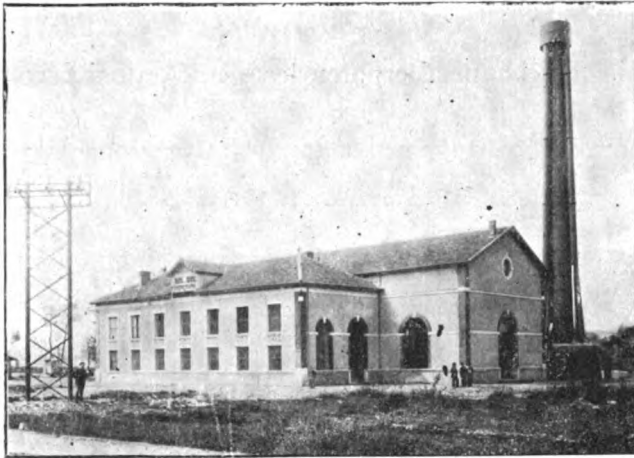
» L'usine contient actuellement cinq groupes de turbines-alternateurs de 1350 HP chacun, deux groupes de turbines excitatrices de 150 HP chacun et une petite turbine de 5 HP destinée à alimenter les deux accumulateurs hydrauliques nécessaires à la manœuvre des régulateurs à servo-moteur.

» Les turbines, fournies par la maison Neyret-Brenier, de Grenoble, sont du type centripète avec distributeur à tiroir cylindrique; elles fonctionnent avec une aspiration de 5^m. Elles sont reliées aux alternateurs par des manchons munis de taquets en caoutchouc travaillant à l'écrasement. Leur vitesse est de 300 tours à la minute; la quantité d'eau employée à pleine charge est d'environ 4^{m³} à la seconde.

» Trois des turbines sont munies de régulateurs automatiques à servo-moteurs et accouplés à des vannes compensatrices dont la disposition est telle que, lorsque le régulateur ferme le distributeur

de la turbine, il ouvre d'une quantité équivalente les orifices de la vanne compensatrice, de sorte que la quantité d'eau employée par une turbine à régulateur est théoriquement constante, les 4^m nécessaires à son fonctionnement à pleine charge passant soit par les orifices du distributeur, soit par ceux de la vanne compensatrice.

Fig. 7.



La vitesse de l'eau dans le tuyau est donc sensiblement régulière et la production de coups de béliet à peu près supprimée.

» Des robinets de purge, des manomètres placés aux divers points du collecteur, donnent les indications intéressant la marche de l'usine.

» Passons maintenant à la description du matériel électrique de l'usine génératrice, qui a été entièrement fourni par la maison Brown, Boveri et C^{ie}, de Baden.

» L'usine renferme cinq alternateurs, deux dynamos d'excitation et cinq transformateurs élévateurs.

» Les alternateurs, triphasés, sont à arbre horizontal et à inducteur tournant. Chacun d'eux peut absorber sur l'arbre 1350 HP en travaillant sur des circuits dont $\cos\Phi = 0,8$.

» Ils fournissent du courant alternatif triphasé avec une tension composée de 3000 volts; la fréquence du courant est de 50 périodes par seconde; leur vitesse étant de 300 tours par minute, le nombre des pôles de l'inducteur tournant est de 20.

» Les enroulements de l'induit, qui est fixe, sont connectés en

étoile. Il y a dix bobines induites par phase; ces bobines sont réunies par cinq, en série, et les deux séries ainsi formées couplées en parallèle.

» Chacune des bobines induites est constituée par dix-huit spires de câble de 34^{mm} de section; ces spires sont logées dans des tubes en micanite fixés dans les trous ménagés dans les tôles d'induit; il y a six trous et six tubes par bobine et six spires par tube.

» Le poids de chaque alternateur est de 29', ainsi décomposé :

Induit.....	11'
Inducteur.....	8
Bâti et paliers.....	10

» Les dynamos à courant continu, destinées à fonctionner comme excitatrices, sont au nombre de deux; chacune d'elles peut absorber sur son arbre 150 HP; l'induit tourne avec une vitesse de 500 tours à la minute; elles sont excitées en dérivation et la tension du courant produit est de 110 volts.

» Les transformateurs élévateurs sont au nombre de cinq; la puissance de chacun d'eux est de 1150 kilovolts-ampères; les trois noyaux sont disposés dans le même plan; les bobines primaires à 3000 volts sont subdivisées sur chaque phase en trois parties égales mises en série de manière à réserver la possibilité, par un changement des connexions dans ces bobines, d'utiliser la tension de 1000 volts en groupant les trois parties en parallèle. Les extrémités des bobines secondaires sont rattachées à six bornes situées sur la caisse du transformateur, de façon à permettre, par une manœuvre simple faite au tableau de haute tension, de connecter ces bobines soit en triangle pour obtenir la tension de 15000 volts, soit en étoile pour obtenir la tension de 26000 volts.

» Les noyaux et les bobines sont plongés dans un bain d'huile refroidie par une circulation d'eau dans un double serpentin baignant dans l'huile.

» Le poids de chaque transformateur est d'environ 13500^{kg}, ainsi décomposés :

Carcasse et enroulements.....	7500 ^{kg}
Caisse à huile.....	3000
Huile.....	3000

» Les tableaux sont au nombre de trois :

» 1° Tableau à moyenne tension, situé au rez-de-chaussée, entre la salle des machines et la salle des transformateurs;

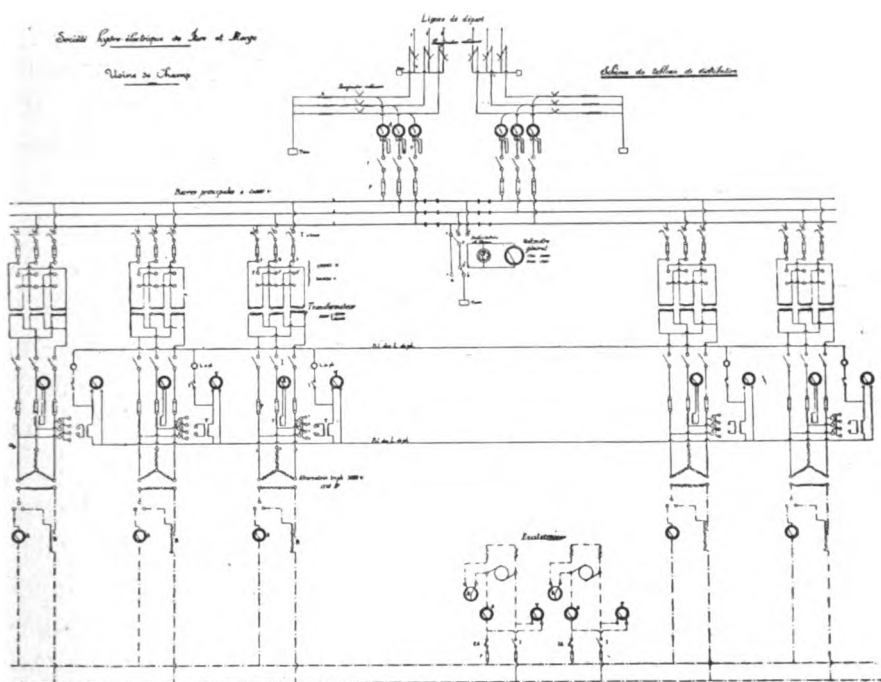
» 2° Tableau à basse tension, situé au premier étage, sur la passerelle de service;

» 3^e Tableau à haute tension, situé au milieu de la salle des tableaux, au premier étage.

» Examinons successivement chacun de ces tableaux :

» Le tableau à moyenne tension (*fig. 9*) reçoit les câbles venant

Fig. 8. — Schéma du tableau de distribution.



des alternateurs. Il comprend, pour chaque alternateur : un jeu de coupe-circuits fusibles disposés dans des niches de marbre blanc; un interrupteur tripolaire à bain d'huile, manœuvré depuis le tableau à basse tension; un transformateur de mesure pour voltmètre; un transformateur de mesure pour ampèremètre; un commutateur de voltmètre à trois directions, mais dont le mouvement se commande depuis le tableau à basse tension; un jeu de coupe-circuits

fusibles à basse tension placés sur les dérivations aboutissant au commutateur de voltmètre.

» Le tableau à basse tension comprend un panneau central, deux panneaux de départ de lignes, un panneau pour chaque excitatrice et un panneau pour chaque alternateur.

» Le panneau central supporte le voltmètre général donnant la tension sur les barres omnibus et un volant permettant de manœuvrer en même temps tous les rhéostats des alternateurs.

» A droite et à gauche de ce panneau central sont les panneaux de départ de lignes, supportant chacun le volant de manœuvre des interrupteurs à 26 000 volts placés dans le tableau à haute tension, et trois ampèremètres donnant l'intensité du courant passant dans les trois fils de lignes.

» Viennent ensuite les panneaux des excitatrices, comprenant chacun un coupe-circuit bipolaire, un interrupteur unipolaire, un disjoncteur automatique, un rhéostat de réglage, un ampèremètre et un voltmètre.

» Les panneaux des alternateurs comprennent chacun : un levier de manœuvre commandant l'interrupteur à 3000 volts situé dans le tableau de moyenne tension, un interrupteur d'excitation, un levier de manœuvre de commutateur de voltmètre à trois directions, un rhéostat de réglage, une lampe de phase, un commutateur de phase, un ampèremètre d'excitation, un ampèremètre de machine et un voltmètre.

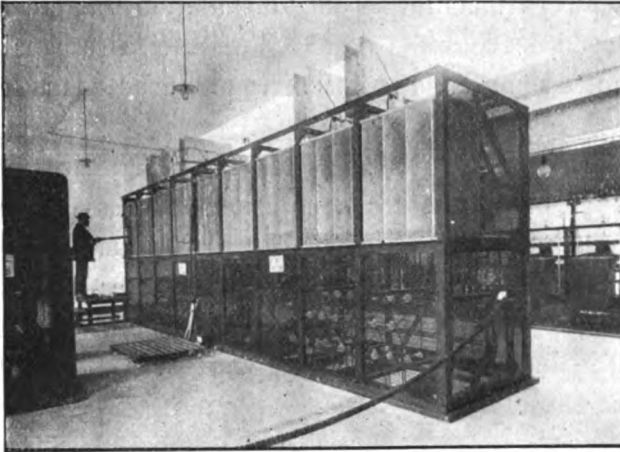
» Le tableau à très haute tension (*fig. 10*) comprend : les barres d'accouplement permettant de connecter les bobines secondaires des transformateurs soit en triangle, soit en étoile; des jeux de coupe-circuits fusibles, des interrupteurs aériens à cornes destinés à isoler ou à mettre sur les barres omnibus chacun des transformateurs; les barres omnibus d'où partent les lignes de distribution, six transformateurs de mesure pour ampèremètres, un transformateur de mesure pour le grand voltmètre du panneau central du tableau à basse tension, deux interrupteurs à 26 000 volts à bain d'huile manœuvrés depuis le tableau à basse tension, et un indicateur de terre.

» Enfin, derrière le tableau à très haute tension se trouvent disposés les parafoudres à cornes avec résistances liquides qui

protègent le matériel de l'usine. Afin de rendre leur effet plus efficace, un point de rebroussement a été disposé de façon à créer une self.

» L'examen du schéma de l'usine de Champ (*fig. 8*) vous permet

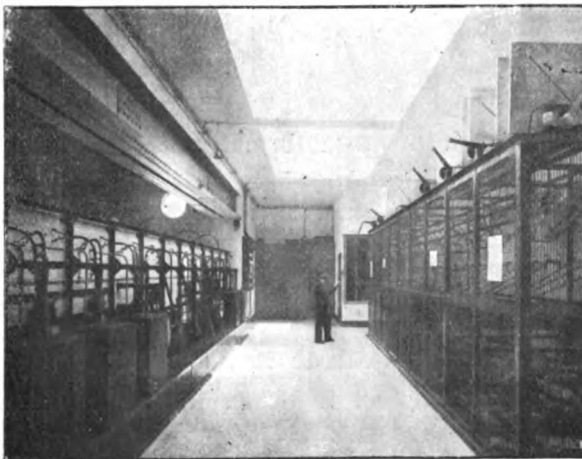
Fig. 9.



de saisir d'un coup d'œil la façon dont sont disposés tous les appareils que nous venons de décrire.

» Vous remarquerez que, à la sortie de l'usine, des parafoudres

Fig. 10.



supplémentaires ont été ajoutés par surcroît de sécurité. Les points

de rebroussement ont été multipliés à dessein le plus possible, afin d'obliger dans une certaine mesure le courant de foudre à s'écouler directement à la terre sans détériorer les appareils électriques disposés dans l'usine.

» Tous les bâtis des machines, alternateurs, transformateurs, tous les châssis supportant des conducteurs électriques; en un mot, toutes les pièces métalliques de l'installation ont été mises à la terre au moyen de deux fils de 7^{mm}, l'un relié à la canalisation de l'usine, l'autre à une plaque de cuivre plongeant dans le canal de fuite.

» Pour terminer ce qui a trait à l'usine génératrice, nous allons vous indiquer ci-dessous les conclusions des essais du matériel électrique qui ont été faits avant la mise en marche. Nous nous contenterons de vous citer les résultats trouvés, tenant à votre disposition des copies du procès-verbal relatant tous les essais effectués et le détail des méthodes employées.

» *Alternateurs :*

Pour $\cos \Phi = 1$	le rendement des alternateurs est....	0,915
»	= 0,8	» 0,938

» En régime de pleine charge, la température de l'alternateur ne dépasse pas 35° au-dessus de l'ambiante.

Pour $\cos \Phi = 1$	la chute de tension obtenue est.....	4,7 pour 100
»	= 0,80	» 13 »
»	= 0,70	» 15 »

» En ce qui concerne les transformateurs :

A pleine charge,	le rendement est.....	97,8 pour 100
A demi	»	» 97 »
A quart	»	» 95 »

» Avec une circulation d'eau de 30^l par minute à 15°, la température des transformateurs est de 44° au-dessus de l'ambiante.

Pour $\cos \Phi = 1$	la chute de tension est.....	1 pour 100
»	= 0,80	» 1,5 »

» *Excitatrices* :

Le rendement à pleine charge est.....	92	pour 100
» demi » 	89,5	»

» Enfin, les essais d'isolement n'ont donné lieu à aucune remarque particulière. Pour les transformateurs, les enroulements haute tension ont été essayés à une tension de 60 000 volts appliquée entre l'enroulement et la masse à laquelle était connecté l'enroulement basse tension.

» Les enroulements de basse tension ont été essayés à une tension de 7 000 volts entre l'enroulement basse tension et la masse.

» Pour les alternateurs, les enroulements de l'induit ont été essayés à 6 000 volts entre la masse et les bobines. Les canalisations entre les alternateurs et les transformateurs ont été également essayés à 6 000 volts.

» Enfin, les tableaux et les canalisations à très haute tension ont été essayés à 52 000 volts.

» L'usine génératrice est en marche industrielle depuis le 15 mars et, jusqu'à ce jour, la force motrice a été distribuée d'une façon très régulière aux cinquante-sept usines qui l'utilisent.

» La ligne principale, qui a 36^{km} de long, se compose de six fils de 7^{mm} de diamètre supportés par des poteaux métalliques communs aux Sociétés Grenobloise de force et lumière et Hydro-électrique de Fure et Morge.

» A Moirans, la ligne principale se partage en deux lignes primaires : l'une, composée de trois fils de 5^{mm} de diamètre, se dirige sur Voiron en longeant la vallée de la Morge ; l'autre se dirige vers Rives en suivant la route de Charnècles ; elle est composée de trois fils de 6^{mm}.

» A Rives, la ligne se divise à son tour en deux artères primaires, composées chacune de trois fils de 4^{mm} ; la première se dirige sur Fures en descendant la vallée de cette rivière, la seconde va à Charavines en remontant la même vallée.

» Toutes ces lignes primaires sont supportées par des poteaux en bois.

» Les isolateurs à haute tension sont en verre bleu coulé et proviennent d'Amérique; ils ont tous été essayés séparément à 80000 volts avant d'être placés sur les poteaux.

» Les parafoudres échelonnés le long de la ligne sont des parafoudres à cornes avec résistances liquides du type B. B. C. employé à l'usine.

» Les interrupteurs aériens sont des interrupteurs à cornes semblables à ceux placés sur le tableau de très haute tension de l'usine.

» Le courant à 26000 volts est distribué à des sous-stations proprement dites, au nombre de onze : ces sous-stations réduisent la tension à 2000 ou 1000 volts suivant les localités. De ces sous-stations partent des lignes secondaires allant desservir les usines des

Fig. 11.



abonnés. Certains industriels utilisent directement le courant à 1000 volts; la majorité préfère abaisser la tension à 120 volts au moyen de transformateurs fournis par la Société.

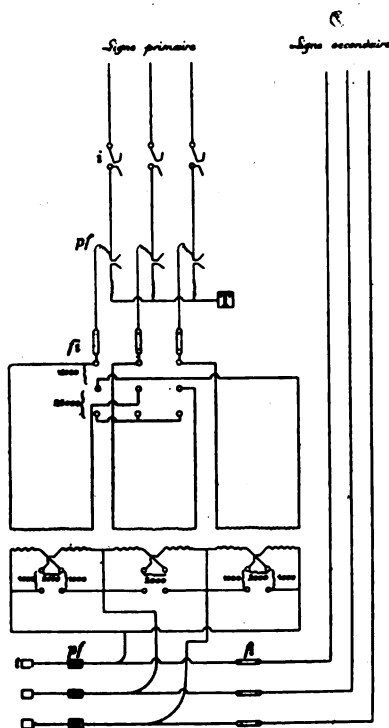
» Toutes nos sous-stations sont construites de la même façon : un petit kiosque en maçonnerie de 3^m sur 3^m en général, surmonté d'une

cheminée servant d'arrivée pour les lignes primaires et de départ pour les lignes secondaires (*fig. 11*).

» Avant d'entrer dans la cheminée, les lignes primaires aboutissent à un interrupteur aérien, puis à un jeu de parafoudres à cornes. Les fils viennent ensuite se fixer aux bornes d'un jeu de

Fig. 12.

SCHEMA
d'une sous-station de transformation



coupe-circuits semblables à ceux de l'usine génératrice et disposés comme eux dans des niches en marbre blanc. Ces coupe-circuits sont accessibles de l'extérieur du poste. Les transformateurs sont à bain d'huile, avec refroidissement par circulation d'eau lorsque leur puissance dépasse 150 kilovolts-ampères. Les lignes secondaires partant des transformateurs sont reliées à un jeu de parafoudres Wurtz, puis à un jeu de coupe-circuits fusibles également accessibles de l'extérieur de la sous-station, remontent dans la cheminée et rejoignent ensuite les usines qu'elles sont appelées à desservir.

» Toutes les ferrures des sous-stations, bâtis, cuves des transformateurs, sont à la terre.

» Le schéma ci-dessus montre les dispositions d'une sous-station du type courant (*fig. 12*).

» Lorsque la ligne secondaire arrive à l'usine à desservir, elle aboutit d'abord à un jeu de coupe-circuits fusibles, puis à un jeu de parafoudres et, de là, au tableau de l'abonné si celui-ci utilise le courant sans nouvelle transformation, au transformateur de la Société si, au contraire, le courant doit subir une nouvelle transformation.

» Telles sont, rapidement indiquées, les principales dispositions de la distribution d'énergie de la Société de Fure et Morge.

» La hauteur théorique de chute utilisée par la Société est de 37^m,40, mesurée entre le niveau de l'eau dans la chambre d'eau et le niveau supérieur de l'eau dans le canal de fuite. Les pertes de charge dues au passage de l'eau au travers des grilles, à sa circulation dans les tuyaux en ciment et en tôle et aux changements de direction sont d'environ 5^m,40, ce qui fait que la chute nette produisant réellement la force à l'usine de Champ est de 32^m,00; le débit minimum utilisé étant de 17^m³, la force hydraulique minima dans les capotes des turbines est de 7200 chevaux.

» En tenant compte

Du rendement des turbines.....	0,76
» des alternateurs.....	0,94
» des transformateurs.....	0,975
» de la ligne commune entre Champ et Moirans..	0,94
» des transformateurs et lignes secondaires.....	0,90

on arrive à un rendement total de 58 pour 100 de la puissance hydraulique, soit 4176 chevaux électriques disponibles chez les abonnés. Sur ces 4176 chevaux, 3300 sont déjà loués pour une durée de 30 ans.

» La Société hydro-électrique de Fure et Morge a employé un capital de 5 000 000 de francs pour créer cette importante installation :

Le prix d'établissement du cheval électrique au domicile	
des abonnés ressort donc à.....	1200 ^{fr}

» Nous ajouterons, à titre de renseignement, que les travaux d'aménagement de la seule partie hydraulique ont exigé un mouvement de terre de 100000^{m³}; 42000^{m³} de béton ont été employés et ont exigé pour leur confection 13000^t de ciment. Enfin, 10000^{m³} d'enrochements naturels ont été placés aux abords des ouvrages d'art pour les protéger contre les affouillements du Drac. »

**LES RÉGULATEURS AUTOMATIQUES ET LE COMPOUNDAGE ÉLECTROMÉCANIQUE
DES GROUPES ÉLECTROGÈNES.**

M. ROUTIN. — « Messieurs, pour tous les ingénieurs chargés de diriger l'exploitation d'une station centrale, la recherche des moyens permettant de simplifier le service et d'en assurer la régularité a toujours été un sujet de légitimes préoccupations.

» Dans le cas le plus général, qui est aussi le plus fréquent dans les régions que vous avez visitées, où il s'agit de régulariser des groupes électrogènes à courants polyphasés, le problème à résoudre est double ; il faut prévoir, d'une part, le réglage de la vitesse qui s'obtient en agissant sur les organes d'admission du moteur, et, d'autre part, le réglage de la tension qui s'obtient en agissant sur l'excitation du générateur.

» Il semble que, jusqu'à ce jour, on ait eu le tort d'envisager, comme constituant deux problèmes différents, ces deux faces d'un même problème.

» L'électricien a apporté tous ses soins au perfectionnement des générateurs en vue de maintenir la constance du voltage, tandis que son collègue le mécanicien s'évertuait à resserrer entre des limites toujours plus rapprochées la variation de la vitesse de son moteur.

» On est arrivé, dans l'une et l'autre voie, à des résultats parfaits lorsqu'ils sont considérés en eux-mêmes, mais on a eu des surprises souvent désagréables lorsqu'on a cherché à appliquer ces ingénieux mécanismes au service tout spécial des stations centrales.

» C'est ainsi que les électriciens ont été conduits à reconnaître, au grand scandale des mécaniciens, que le moyen le plus sûr de rendre pratiquement impossible la marche en parallèle des alternateurs consistait à munir les moteurs des régulateurs mécaniques modernes les plus perfectionnés.

» Ce paradoxe se justifie par des considérations que vous retrou-

verez dans l'un des derniers numéros du *Bulletin de la Société internationale des Électriciens* ⁽¹⁾.

» *Le réglage électrique.* — Les moyens employés pour obtenir la régularisation du voltage d'un générateur électrique vous sont bien connus.

» Dans de nombreuses usines, on se contente d'agir à la main sur le rhéostat d'excitation. C'est le cas de l'usine de Cusset, que vous venez de visiter.

» Parfois, cette manœuvre est commandée d'une manière automatique par un régulateur de tension ; ce dernier procédé a reçu quelques applications pratiques, grâce aux remarquables appareils de M. Thury. Vous avez certainement rencontré quelques spécimens de ces régulateurs au cours de votre voyage d'études.

» Lorsque la constance du voltage est obtenue d'une manière automatique par une réaction du courant principal, le générateur est dit *compound*.

» Ce qualificatif, d'origine anglaise, signifie *composé*. Étymologiquement, une machine dite *compound* est une machine comportant un bobinage inducteur *composé*.

» Dans les premières machines compounds à courant continu, l'artifice employé était des plus simples et consistait tout simplement à superposer sur les noyaux des inducteurs deux bobinages distincts parcourus respectivement par un courant dérivé et par le courant principal ; on n'avait recours à aucun dispositif extérieur.

» Avec les alternateurs compounds de production récente, les procédés employés sont devenus plus complexes ; on s'est trouvé dans l'obligation d'avoir recours à des excitatrices ou transformateurs spéciaux qui ne font plus, à proprement parler, partie intégrante du système inducteur, qui ne porte plus qu'un seul bobinage.

» Le sens étymologique s'est ainsi progressivement effacé devant l'extension donnée au problème, et le mot francisé *compoundage* est devenu synonyme de *procédé de réglage de la tension par la réaction du courant principal*.

» *Définition du compoundage électromécanique.* — Nous dirons,

(1) Novembre 1901, t. I (2^e série), p. 497 et suiv.

par analogie, qu'un groupe électrogène est *compoundé*, lorsque sa tension et sa vitesse sont maintenues automatiquement constantes, quelle que soit la charge, par la réaction du courant principal.

» Nous distinguerons donc deux sortes de compoundages : le compoundage électrique des générateurs et le compoundage électromécanique des groupes électrogènes.

» Le compoundage électrique des générateurs est toujours obtenu en faisant réagir convenablement le courant débité par le générateur sur son excitation ; c'est là le caractère distinctif de ce procédé de réglage. Il est à remarquer que toutes les solutions du compoundage électrique supposent implicitement la vitesse constante ; leur apparente simplicité provient de ce qu'elles ne résolvent que la partie électrique du problème ; quelque élégantes qu'elles soient, elles ne font que contourner la véritable difficulté pratique, en laissant à un régulateur mécanique le soin de maintenir la constance de la vitesse.

» Le réglage d'un groupe électrogène exige donc forcément une manœuvre mécanique pour maintenir constante la vitesse du moteur lorsque la charge varie.

» *Le réglage mécanique.* — Il est assez curieux de remarquer que, contrairement à ce qui se passe pour le réglage électrique, on n'emploie que fort rarement le réglage à la main pour maintenir la constance de la vitesse des moteurs.

» Par analogie avec les moyens employés dans le compoundage électrique, on pourrait être tenté de chercher à commander les organes d'admission par les réactions du couple résistant, de façon à maintenir un équilibre constant entre ce dernier et le couple moteur ; ce procédé ne paraît malheureusement pas susceptible d'une application industrielle, en raison des difficultés que présente la construction des dynamomètres de transmission ; de plus, il faut remarquer qu'un tel dispositif ne réagirait pas contre les variations de la pression du fluide moteur (').

» Ayant dû renoncer à maintenir l'équilibre entre le couple

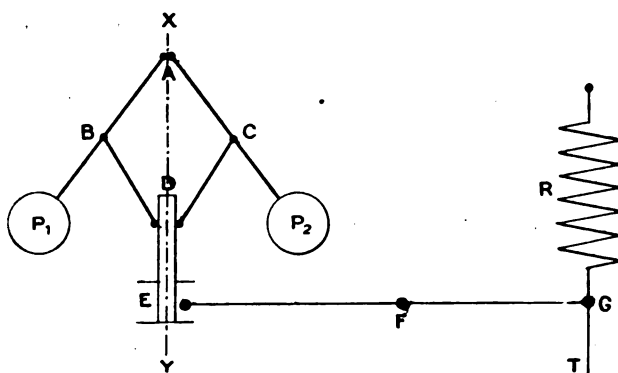
(') Cette réaction pourrait cependant être obtenue par l'emploi d'un dispositif différentiel analogue à ceux que nous décrivons ci-après.

moteur et le couple résistant, les mécaniciens ont été obligés d'admettre de petites variations de la vitesse et de se contenter de chercher à les resserrer entre des limites aussi étroites que possible. Le procédé adopté par eux est donc, en tous points, semblable à celui des régulateurs automatiques genre Thury, employés pour maintenir la constance de la tension.

» Vous avez sans doute remarqué, dans vos visites d'usines hydro-électriques, des mécanismes d'apparence très compliquée qui ne rappellent que par un seul de leurs organes les régulateurs à force centrifuge que vous avez pu voir en service sur les machines à vapeur des Secteurs parisiens. J'ai pensé qu'il serait intéressant de vous expliquer la raison de cette complication et de vous faire comprendre le fonctionnement de ces appareils, probablement nouveaux pour la plupart d'entre vous.

» Considérons, tout d'abord, le cas d'un régulateur à action directe, que nous représenterons schématiquement (*fig. 1*) par un

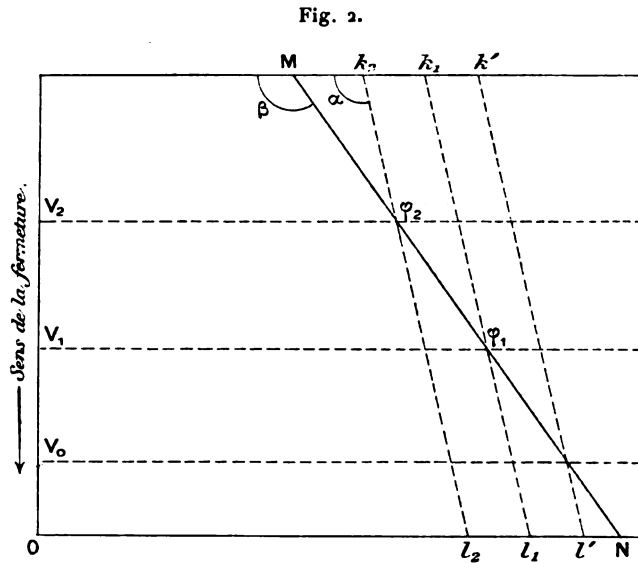
Fig. 1.



parallélogramme articulé ABCD, deux masses pesantes P_1 , P_2 et une douille E, le tout tournant autour d'un axe XY. Le déplacement de la douille E entraîne la rotation du levier EG autour du centre F. L'effort antagoniste est produit par un ressort R. Au levier EG est attachée, en G, la tige T qui commande l'admission. D'après la disposition du croquis, un déplacement de haut en bas de la tige T doit faire diminuer l'admission. Le levier EG est constamment soumis à deux efforts agissant en sens inverses. Représentons sur un

graphique (*fig. 2*) les moments de ces deux forces par rapport au point F, en portant verticalement les positions du point G et horizontalement les valeurs correspondantes des moments.

» Le moment de la force antagoniste produite par le ressort R sera représenté par une ligne droite MN. Le moment des forces



centrifuges du système en rotation sera, pour une vitesse donnée v_1 , représenté par une ligne k, l_1 (¹); ces deux lignes se coupent en un point φ , qui correspond à un degré d'ouverture OV_1 de l'admission et, par suite, à une charge déterminée de la machine.

» Si le couple résistant vient à augmenter, la vitesse tend à diminuer et la ligne k, l_1 vient progressivement jusqu'en k, l_2 , définissant par son intersection φ_2 avec MN le nouveau degré d'ouverture OV_2 de l'admission nécessaire pour le rétablissement de l'équilibre entre le couple moteur et le couple résistant.

» On voit que, dans le cas général, à chaque degré d'ouverture correspond une vitesse de régime donnant l'équilibre des efforts centrifuge et antagoniste, ce qui revient à dire que le rôle du régulateur consiste à assigner pour chaque valeur de la charge une valeur correspondante de la vitesse.

(¹) Pratiquement, dans les limites d'utilisation des régulateurs, ces lignes sont des droites.

» Il est intéressant de remarquer que la vitesse de régime est forcément plus grande à vide qu'en charge. En effet, si nous supposons, par exemple, que le couple résistant diminue, il y a tendance à la fois à la fermeture et à l'augmentation de la vitesse. Pour qu'on puisse trouver une nouvelle position d'équilibre, il faut que la ligne $k'l'$ coupe MN en dessous de la ligne horizontale passant par le point φ_1 . Ceci exige évidemment que l'angle d'inclinaison α des directions kl soit plus petit que l'angle d'inclinaison β de la direction MN.

» Si, pour un régime de charge bien défini, on cherche à déranger brusquement le régulateur de sa position d'équilibre en agissant à la main sur le levier EG, on éprouve une résistance d'autant plus grande que l'angle des directions MN et kl est lui-même plus grand; cet angle peut donc servir à définir la stabilité du régulateur.

» En cherchant à augmenter la stabilité, on augmente forcément l'écart entre la vitesse à vide et la vitesse en charge.

» L'isochronisme ne pourrait être obtenu qu'à la condition d'identifier MN avec l'une des courbes telles que $k_1l_1, k_2l_2, \dots, k_nl_n$.

» Cette solution ne présente d'ailleurs, ainsi que vous le savez, qu'un intérêt purement théorique, car le régulateur, se trouvant pour une vitesse déterminée en équilibre indifférent, est fatalement *affolé* par l'effet de l'inertie des pièces en mouvement.

» Je n'insiste pas sur les phénomènes accessoires (frottements, force vive des pièces du régulateur) qui rendraient complètement impossibles l'emploi d'un régulateur isochrone; la question a été bien des fois déjà traitée dans tous ses détails. Je n'en veux retenir qu'un point de comparaison pour vous faire comprendre clairement qu'il est indispensable de prévoir un *asservissement* lorsque le régulateur n'agit pas directement sur les organes du réglage.

» Lorsqu'il s'agit de régulariser le mouvement des machines à vapeur, on peut atteler directement la tige T à la commande de l'admission. Mais, lorsqu'on a affaire à des turbines, l'effort à développer sur les vannages étant souvent considérable, on est obligé d'interposer un moteur auxiliaire que le levier EG commande par l'intermédiaire de relais.

» Si le déplacement de la vanne ne réagissait pas sur le régulateur, on retrouverait exactement les mêmes difficultés que présente

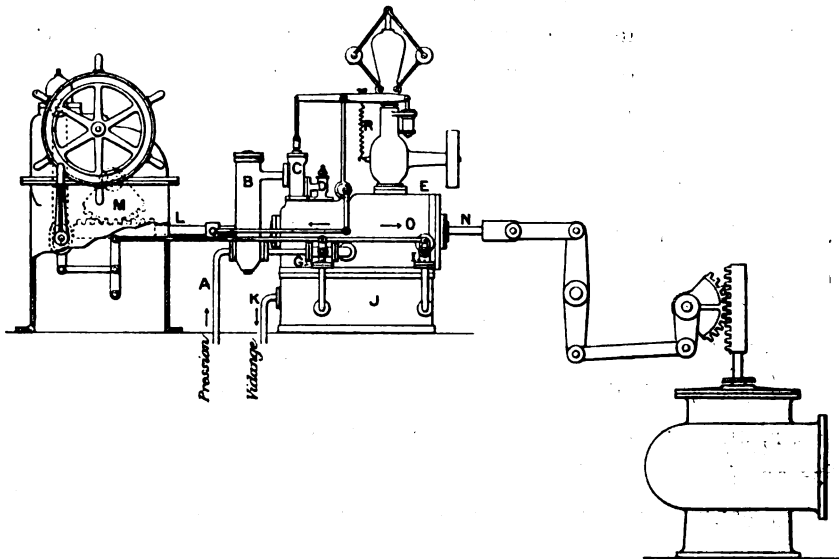
la recherche de l'isochronisme. En effet, l'action du moteur auxiliaire, pour pouvoir parer aux brusques et importantes variations de la charge, doit être aussi rapide que possible. L'ouverture ou la fermeture complète doivent être obtenues en un temps t , qui varie de 2 à 5 secondes. D'autre part, les efforts, centrifuge et antagoniste, d'un régulateur non asservi ne dépendent que de la vitesse; il en résulte que, si une variation de vitesse, introduite par les frottements ou par un défaut de sensibilité, se trouvait, par suite des effets d'inertie, maintenue pendant un temps supérieur à t , le moteur produirait intempestivement l'ouverture ou la fermeture complète.

» Il est donc bien indispensable de prévoir un asservissement obligeant la tige T à suivre tous les déplacements du vannage, tout comme dans le cas de l'action directe.

» Les différents servo-moteurs employés par les hydrauliciens sont tous basés sur le principe du mécanisme imaginé par M. Farcot, principe que vous connaissez certainement tous.

» Je prendrai comme exemple, pour vous indiquer quelques détails intéressants, le matériel de la maison Neyret-Brenier et C^{ie},

Fig. 3.

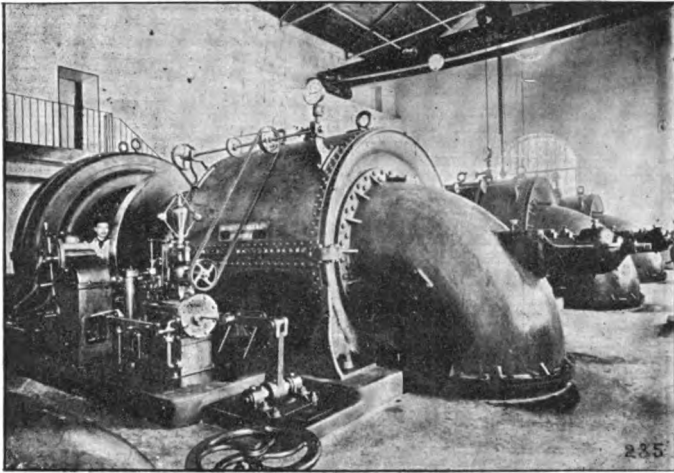


de Grenoble, qui a bien voulu mettre à notre disposition les plans d'exécution de deux de ses installations les plus récentes :

» La figure 3 représente l'ensemble du régulateur et du déchargeur des turbines de l'usine de Champ.

» La figure 4 reproduit une vue générale de l'usine. Chaque tur-

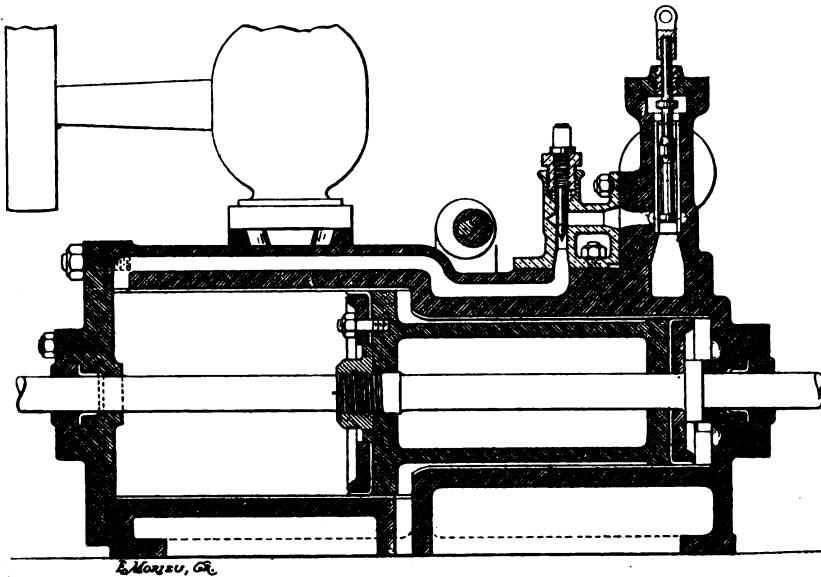
Fig. 4.



bine peut fournir 1500^{chx} à la vitesse de 300 tours à la minute. Le débit est de 4^m^3 .

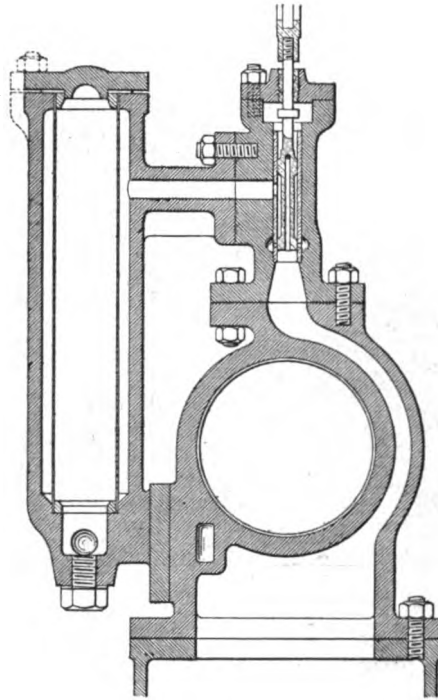
» La chute utilisée a 36^m de hauteur.

Fig. 5.



» Les figures 5 et 6 représentent les coupes du servo-moteur.

Fig. 6.



» La figure 7 montre les détails du déchargeur. Cet appareil a pour effet de maintenir constant le débit de la conduite (longueur 6^m; diamètre 3^m,40). Il se compose tout simplement d'une vanne cylindrique manœuvrée en sens inverse du vannage de la turbine. Chaque fois qu'on n'a pas à faire d'économie d'eau, l'emploi de ces compensateurs est tout indiqué, en raison de leur simplicité.

» La figure schématique 8 montre la disposition du piston différentiel. La pression s'exerce constamment dans le petit cylindre *c*. Suivant la position de la soupape, le cylindre *C* du gros piston est mis en relation soit avec le réservoir d'eau sous pression, soit avec l'évacuation.

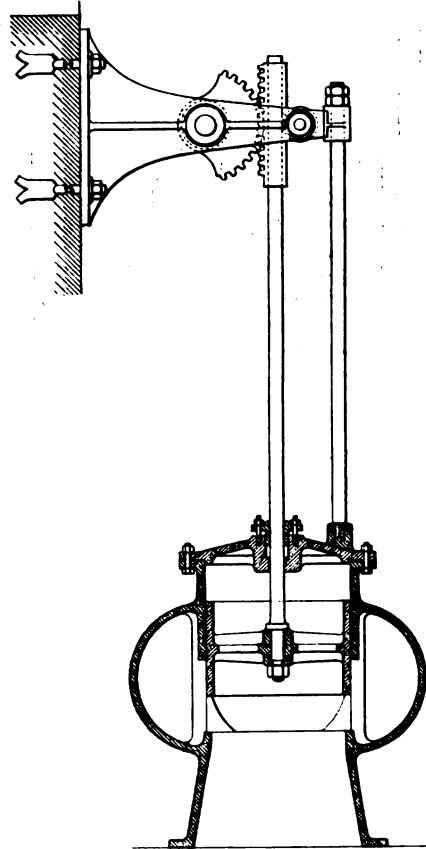
» Le compartiment du milieu *M* est toujours en libre communication avec l'atmosphère, pour permettre l'échappement des fuites.

» La figure 9 reproduit schématiquement les liaisons de l'assemblage. On voit que, grâce aux bielles *B*, et *B*₂ et à l'équerre *C*

tournant autour du point f , le vannage et la douille E ont toujours des positions correspondantes.

» Lors de la manœuvre à la main, le grand et le petit cylindre

Fig. 7.



sont mis en communication avec une bêche à eau (formant socle), de sorte que, pendant les déplacements du piston différentiel, on aspire l'eau de cette bêche d'un côté pour la refouler de l'autre sans risquer d'introduire de l'air dans les cylindres.

» Le relevé graphique de la vitesse, à l'aide d'un tachymètre enregistreur, établit qu'en service normal les variations ne dépassent pas 2 pour 100 en plus ou en moins.

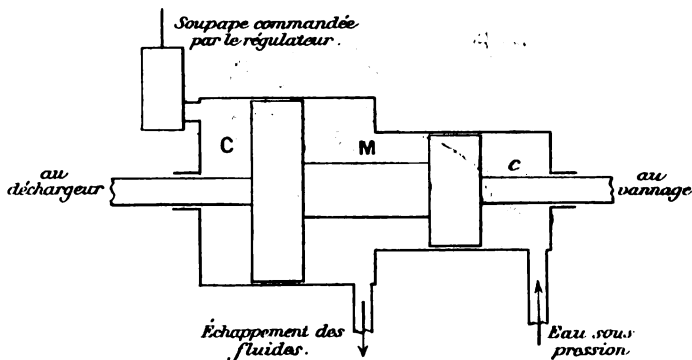
» Les régulateurs et déchargeurs de l'usine de Laffrey présentent certaines dispositions différentes.

» Les unités sont de 300^{chx}. La chute est de 360^m (soit dix fois

plus haute que celle de Champ). Comme on utilise l'eau d'un lac, il était indispensable d'éviter tout gaspillage.

» C'est pourquoi on a adopté des déchargeurs spéciaux qui

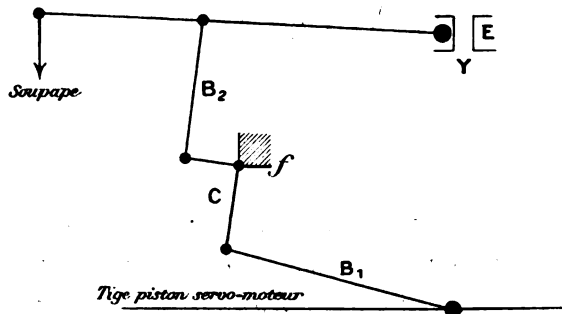
Fig. 8.



referment progressivement et automatiquement la vanne d'évacuation après chaque décharge.

» La figure 10 représente une coupe de cet appareil qui se compose en principe d'un cylindre en fonte C rempli d'huile, dans lequel

Fig. 9.

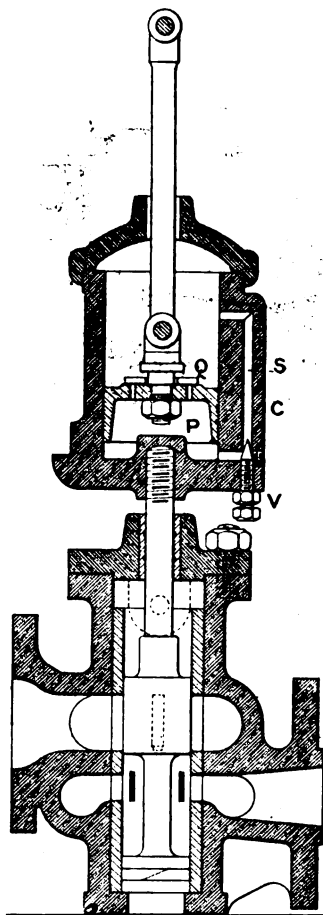


peut se déplacer un piston P muni d'un clapet annulaire Q; les parties supérieures et inférieures du cylindre communiquent par un petit canal latéral obturé par un pointeau à vis V.

» La tige du piston est reliée au servo-moteur et le cylindre de fonte à la vanne de décharge. Lorsque le servo-moteur ferme le vannage, il tend à soulever le piston P, le clapet Q se ferme, le

cylindre C est entraîné et provoque l'ouverture de la vanne de décharge. Puis, sous l'influence du poids de la vanne et du cylindre C,

Fig. 10.



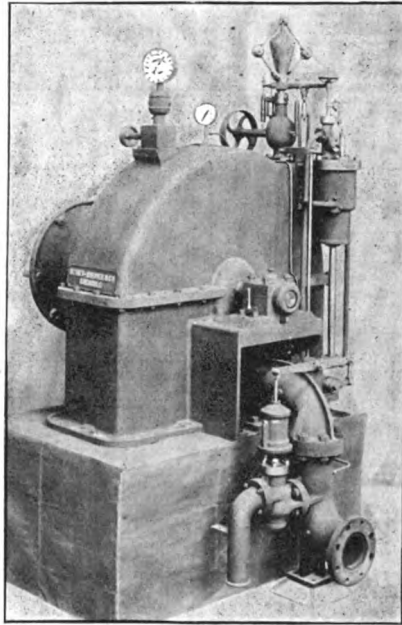
le système redescend lentement en forçant l'huile à passer par la petite ouverture que ménage le pointeau V.

» Ce système déchargeur ne permet évidemment d'éviter que les coups de bélier positifs et laisse subsister des perturbations dans le régime de la conduite, lorsque l'ouverture du vannage produit un appel brusque; ces perturbations peuvent, dans certains cas, troubler le fonctionnement des régulateurs.

» La figure 11 fait voir les dispositions d'ensemble de la turbine, du régulateur et du déchargeur.

» *Le compoundage électromécanique.* — Avec les procédés actuels d'exploitation des stations centrales, les manœuvres du réglage

Fig. 11



mécanique et du réglage électrique sont complètement indépendantes l'une de l'autre. Cependant, ces deux réglages sont, en fait, soumis à une dépendance mutuelle évidente.

» A la vitesse normale, pour une charge déterminée, le degré d'ouverture de l'admission au moteur, aussi bien que l'excitation nécessaire pour obtenir le voltage normal, sont très exactement définis.

» Je laisse momentanément de côté l'objection qu'on pourrait soulever dans le cas de générateurs alternatifs à facteur de puissance variable; un simple détail de construction suffit, ainsi que nous le verrons plus loin, à éluder cette difficulté.

» Cette première remarque conduit à l'asservissement à une seule et même commande des organes qui règlent l'admission et du rhéostat d'excitation.

» On conçoit, dès lors, la possibilité de commander automatiquement le réglage de l'ensemble du groupe, soit par un appareil tachymétrique influencé par les petites variations de la vitesse au voisi-

nage de sa valeur normale, soit par un appareil électrique sensible aux variations du voltage, soit enfin par une combinaison de ces deux moyens.

» Mais on peut faire mieux et réaliser une solution tout autre, basée sur le principe que j'ai déjà indiqué en parlant des régulateurs mécaniques, et qui consiste à maintenir un équilibre constant entre le couple moteur et le couple résistant. Le dynamomètre de transmission sera avantageusement remplacé par un appareil électromagnétique dont l'action sera fonction du courant débité par le générateur et la stabilité assurée, même dans le cas de variations de la pression du fluide moteur, par un dispositif différentiel dont je vais indiquer le jeu.

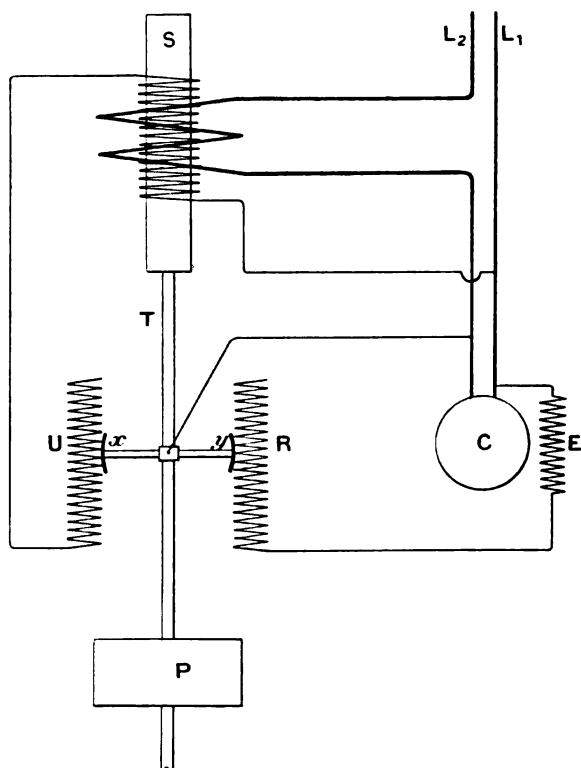
» Pour bien faire comprendre le principe du système, je décrirai tout d'abord le dispositif correspondant au cas d'une machine à vapeur actionnant une machine dynamo-électrique à courant continu.

» *Cas d'une dynamo à courant continu actionnée par une machine à vapeur.* — Dans la figure 12, qui se réfère à ce cas, C représente le générateur à courant continu ; L_1 , L_2 les conducteurs reliés au réseau d'utilisation ; E le circuit d'excitation (bobinage inducteur de C) ; R le rhéostat d'excitation permettant de faire varier (par le déplacement de la touche de contact glissant γ) le voltage aux bornes du générateur C. S est un double solénoïde portant deux bobinages distincts : l'un d'eux est relié en série avec le circuit d'utilisation et parcouru, par conséquent, par le courant principal ; l'autre est branché en dérivation aux bornes de la machine, avec interposition d'un rhéostat U dont la résistance peut être augmentée ou diminuée par le déplacement d'un contact glissant x . Les connexions sont établies de façon que l'action magnétisante du solénoïde en série s'oppose à l'action, *toujours prépondérante*, du solénoïde en dérivation. De plus, l'appareil est supposé construit de telle façon que l'attraction du solénoïde sur son noyau soit indépendante du déplacement de ce dernier et ne varie qu'en fonction du nombre total d'ampères-tours agissant dans les bobinages (').

(¹) En pratique, cette difficulté d'exécution est supprimée, car le noyau S agit sur T par l'intermédiaire d'un servo-moteur : cet appareil auxiliaire n'a pas été figuré, pour simplifier les explications.

» Le noyau du solénoïde S est prolongé par une tige rigide T reliée au mécanisme qui fait varier l'admission de la vapeur; le mouve-

Fig. 12.



ment de haut en bas augmente l'admission, le mouvement de bas en haut la diminue.

» La tige T porte en outre les deux contacts glissants x et y dont il a été parlé précédemment. Ces deux contacts sont supposés reliés par un conducteur souple à l'une des bornes de la dynamo. Enfin, un poids P tend à entraîner la tige T de haut en bas.

» *Fonctionnement.* — Supposons que, pour une certaine charge, la tige T soit, à un moment donné, en équilibre sous l'influence du poids P et de l'attraction du solénoïde S.

» Supposons, de plus, qu'à cet instant la vitesse et le voltage aient leurs valeurs normales et que l'admission de vapeur corresponde

exactement à la charge ; cette dernière condition a pour conséquence l'égalité entre le couple moteur et le couple résistant.

» Pour la clarté de nos explications, nous supposerons tout d'abord la dynamo compoundée d'après les procédés ordinaires ; le régulateur n'a plus alors qu'à maintenir l'équilibre entre le couple moteur et le couple résistant.

» Toute augmentation de charge équivaut, dans cette hypothèse, à une augmentation proportionnelle du nombre d'ampères débités par le générateur.

» En nous reportant à ce que nous avons dit plus haut, savoir que l'action magnétisante du solénoïde en série s'oppose à l'action, toujours prépondérante, du solénoïde en dérivation, nous voyons que l'augmentation du nombre d'ampères-tours en série produira une diminution des ampères-tours totaux et, par suite, une diminution de l'attraction sur le noyau ; il s'ensuit que le poids P entraînera la tige T de haut en bas. Remarquons de suite que ce déplacement entraînera l'augmentation progressive de l'admission.

» Mais, d'autre part, comme la tige T entraîne le contact glissant x , la résistance intercalée dans le circuit du solénoïde en dérivation diminue progressivement et suivant une loi absolument arbitraire, qui ne dépend que des valeurs des résistances intercalées entre les plots successifs du rhéostat U .

» Le mouvement de descente s'arrêtera donc de lui-même dès que l'augmentation des ampères-tours du solénoïde en dérivation aura compensé l'augmentation des ampères-tours du solénoïde en série.

» Pour que l'équilibre se trouve automatiquement maintenu entre le couple moteur et le couple résistant, il suffira donc d'ajuster convenablement les résistances intercalées entre les plots successifs du rhéostat U , de telle façon que le mouvement de la tige T soit arrêté au moment voulu.

» Présentées sous forme algébrique, les explications sont plus claires encore :

» Une augmentation de A ampères dans le débit exige une augmentation de l'admission correspondant à un déplacement t de la tige T . On devra donc ajuster les résistances élémentaires du rhéostat U de telle façon que, pour un déplacement t du contact x , l'augmentation du courant dérivé compense l'augmentation du courant principal..

» Si nous envisageons maintenant le cas plus général d'une machine shunt, nous voyons immédiatement qu'il suffira d'ajuster les résistances élémentaires du rhéostat d'excitation R de telle façon que le déplacement de la touche y maintienne le voltage à toutes charges, pour être immédiatement ramené au cas particulier d'une machine compoundée d'après les procédés ordinaires en ce qui concerne les explications précédentes.

» On voit donc que le rôle du régulateur consiste à modifier immédiatement, et à la fois, l'excitation de la dynamo et l'admission de la machine à vapeur, de façon à maintenir le voltage et à rétablir instantanément l'équilibre entre le couple moteur et le couple résistant.

» *Remarques.* — 1° Il est intéressant d'examiner comment se comporte le régulateur aux deux cas limites de la rupture des plombs fusibles ou d'un court-circuit.

» Dans le cas de fusion des plombs, la décharge brusque, entraînant la disparition des contre-ampères-tours du solénoïde en série, fait immédiatement fermer.

» Dans le cas d'un court-circuit, les contre-ampères-tours série, tendant vers une valeur infinie, prennent *exceptionnellement* la prédominance; le flux magnétique est renversé et la tige remonte, commandant encore la fermeture.

» 2° Il est également très intéressant d'étudier l'effet produit, à charge extérieure constante, par une perturbation dans le régime du groupe.

» Si, pour une raison quelconque, la vitesse du groupe venait momentanément à dépasser la valeur normale, il en résulterait une augmentation proportionnelle du courant dans les deux enroulements du solénoïde régulateur et, par suite, une augmentation de l'attraction qui provoquerait la fermeture.

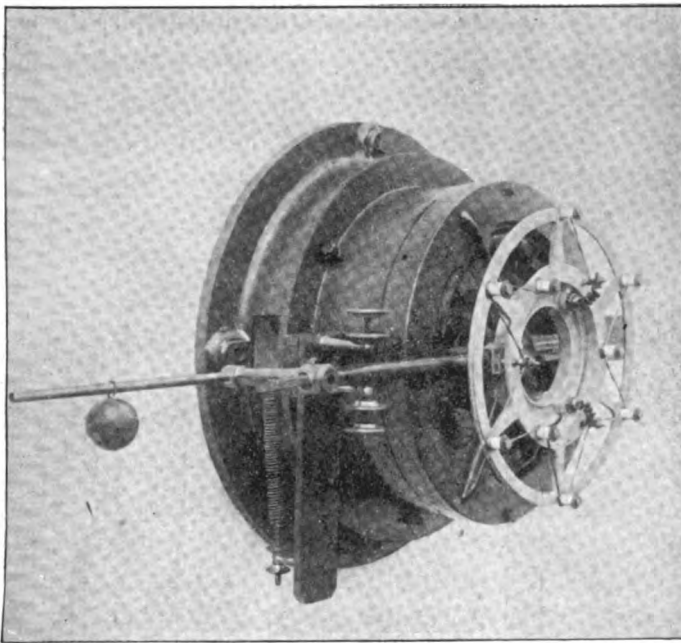
» L'inverse se produirait dans le cas où, pour une raison quelconque, la vitesse tomberait momentanément en dessous de sa valeur normale; *le système est donc parfaitement stable.*

» Au reste, s'il était besoin, dans certains cas spéciaux (par exemple si l'on avait à craindre les effets de variations brusques et très importantes dans la pression du fluide moteur), de renforcer

cette réaction du régulateur contre les variations éventuelles de la vitesse, il suffirait de combiner le dispositif ci-dessus décrit avec un régulateur tachymétrique quelconque, soit en les attelant à un même levier, soit en les faisant agir sur des relais convenablement disposés.

» Dans le cas des courants alternatifs polyphasés, j'emploie avec avantage, au lieu du solénoïde à double enroulement dont il vient d'être question, un moteur asynchrone disposé de telle façon que son rotor, dont les circuits sont reliés à des résistances convenables, soit maintenu en équilibre sous l'influence du couple électromagnétique et d'un contrepoids. Cet appareil est représenté figure 13.

Fig. 13.



Les variations du courant réagissent par l'intermédiaire d'un transformateur de compoundage inversé. Je passe sur toutes les dispositions de détails, que vous pourrez d'ailleurs trouver dans un très prochain article de M. Guilbert (¹).

(¹) Voir *Éclairage électrique*, numéros des 9 et 16 août 1902.

» Je dirai deux mots seulement de la disposition pratique du rhéostat asservi.

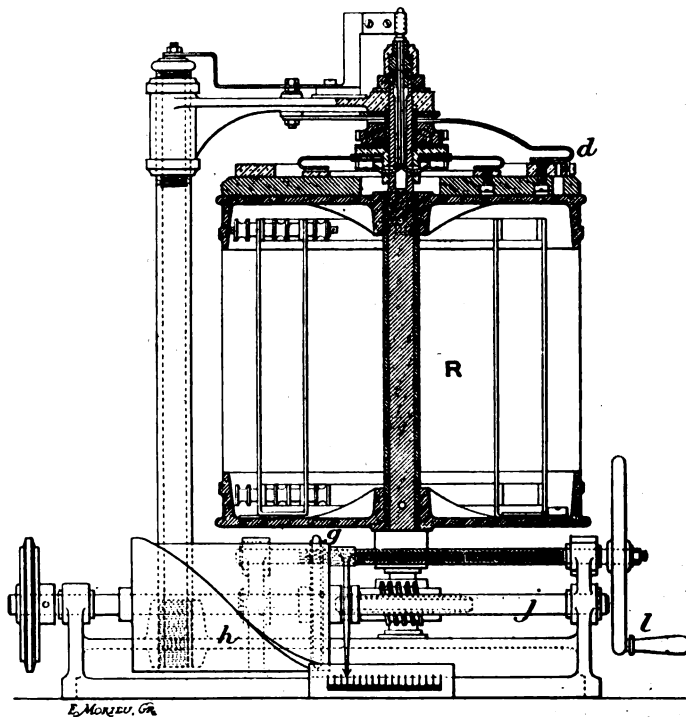
» Lorsque le groupe doit assurer pendant le jour un service de transport de force, et, pendant la nuit, un service d'éclairage, il y a lieu de prévoir un dispositif spécial permettant, à charges égales, de donner une excitation plus forte lorsque le générateur travaille sur le transport de force.

» Il est, d'autre part, indispensable, pour la mise en marche d'un groupe électrogène ou pour son accouplement avec d'autres unités en service, de pouvoir agir momentanément sur le rhéostat sans avoir à toucher au vannage de la turbine (ou à l'admission de la machine à vapeur).

» La disposition représentée par les figures 14 et 14^{bis} répond à ces besoins dans le cas le plus général.

» Le rhéostat R affecte la forme d'un tambour circulaire. Il peut

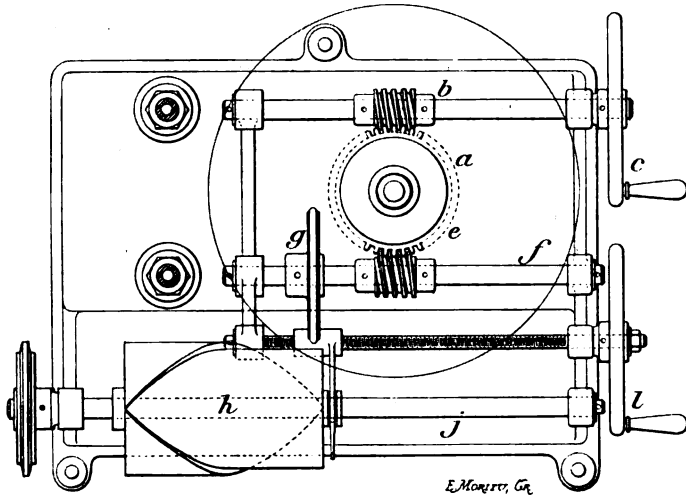
Fig. 14.



être déplacé à la main autour de son axe à l'aide de la roue dentée *a*, de la vis tangente *b* et du volant de manœuvre *c*.

» L'axe du rhéostat qui porte la touche de contact *d* peut être lui-même entraîné par le mouvement du vannage à l'aide de la roue dentée *e*, de la vis tangente *f*, de la roue à friction *g* et du

Fig. 14 bis.



tambour de friction *h* qui peut glisser le long de l'axe *j* qui lui communique le mouvement du vannage.

» Le tambour *h* présente à sa surface une partie en saillie limitée par une hélice. La saillie seule venant en prise avec la roue, il s'ensuit que chaque tour de l'axe *j* imprimera à l'axe du rhéostat un déplacement plus ou moins grand suivant la position du tambour *h* sur l'axe; on règle cette position en agissant sur le volant de manœuvre *l*.

» La figure 15 représente un rhéostat de ce genre construit par la maison A. Grammont pour MM. Neyret-Brenier et C^{ie}, de Grenoble.

» *Avantages du compoundage électromécanique.* — Les avantages que présente le compoundage électromécanique apparaissent d'une manière très nette si l'on prend soin d'examiner de près le mécanisme de propagation et de transformation des perturbations qui peuvent affecter la marche d'un groupe électrogène.

» Lorsqu'on fait varier le nombre d'ampères débités par un générateur, tout en laissant l'excitation et l'admission constantes, la

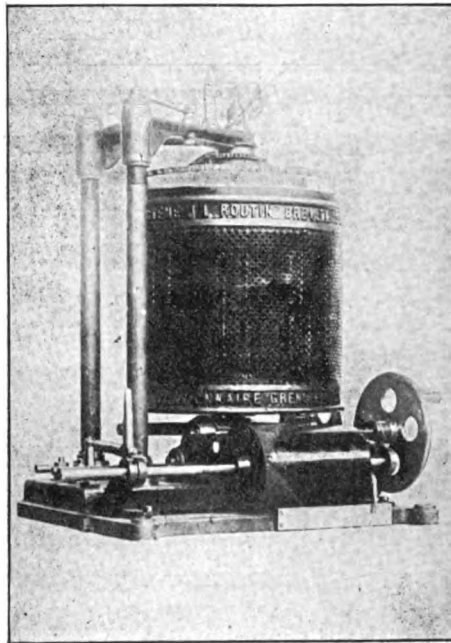
variation de tension aux bornes qu'on observe tient à deux causes distinctes qui sont :

» 1° La réaction d'induit du générateur électrique qui se manifeste instantanément;

» 2° La variation de vitesse du moteur due à la variation de charge du générateur; ce second effet n'est pas instantané, mais d'autant plus long à se manifester que le moment d'inertie des pièces en mouvement est plus grand.

» Nous sommes donc amenés à distinguer, dans le cas le plus

Fig. 15.



général, deux sortes de perturbations possibles dans le fonctionnement d'un groupe électrogène :

» *a.* Les perturbations électriques;

» *b.* Les perturbations mécaniques.

» Il existe entre ces deux groupes des différences tout à fait caractéristiques.

» Les perturbations électriques peuvent être compensées instantanément, car la constante de temps des circuits inducteurs peut toujours être rendue assez petite pour être négligeable.

» Il n'y a donc dans ce cas aucun retard entre la cause régulatrice et l'effet.

» Les perturbations mécaniques, au contraire, ne sont jamais compensées instantanément. L'inertie des pièces en mouvement s'oppose, en effet, à toute variation brusque de vitesse, d'où retard entre la cause régulatrice et l'effet.

» Les perturbations électriques peuvent se manifester subitement par suite de la réaction d'induit sans aucune perturbation mécanique. Par contre, toute perturbation mécanique se complique immédiatement d'une perturbation électrique.

» Ces considérations nous amènent à conclure que, dans l'étude du problème de la régularisation automatique des groupes électrogènes, on doit envisager avec beaucoup de soin la succession des phénomènes qui résultent d'une variation du débit du générateur. On devra, de plus, chercher à éviter autant que possible toutes les perturbations mécaniques.

» Pour pouvoir pousser plus loin notre analyse, nous sommes obligés de particulariser; nous examinerons successivement deux cas particulièrement intéressants : alternateur à forte réaction d'induit et alternateur à réaction négligeable.

» Supposons tout d'abord que nous ayons à régulariser un groupe comportant un générateur à courant alternatif à forte réaction d'induit.

» Lorsqu'on branchera sur le réseau de nouveaux récepteurs (lampes ou moteurs), il se produira tout d'abord une *augmentation de courant* et simultanément une *chute de tension*.

» La puissance fournie ne croîtra pas forcément, puisqu'elle est le produit de deux facteurs qui varient en sens inverse. Il pourra arriver qu'elle ne varie que d'une quantité négligeable.

» Il est facile de se rendre compte de ce fait en jetant les yeux sur la figure 16 qui représente la caractéristique en charge, à excitation constante, d'un alternateur à forte réaction d'induit, ainsi que la courbe des puissances en fonction du débit.

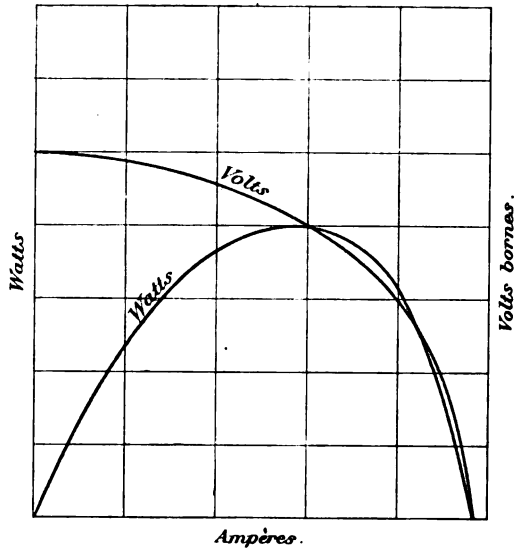
» On voit donc que, dans ce cas particulier, tout se bornera à une perturbation électrique, car, la puissance demandée restant constante, le moteur continuera à tourner avec la même vitesse.

» Il est intéressant de remarquer que cette perturbation électrique

tendrait à se compliquer d'une perturbation mécanique si l'on manœuvrait le rhéostat sans toucher en même temps au vannage ; c'est, cependant, la manœuvre imposée aux surveillants des stations centrales chargés du service du tableau.

» Dans le cas particulier qui nous occupe, l'intervention du sur-

Fig. 16.



veillant aurait donc pour résultat direct d'amener une variation de la vitesse du groupe ; cette variation sera d'autant plus lente à se produire que les masses en mouvement seront plus importantes, mais elle sera elle-même suivie d'une nouvelle variation de voltage.

» Passons maintenant au cas limite d'un générateur à réaction négligeable, c'est-à-dire fournissant une tension pratiquement constante et indépendante de son débit.

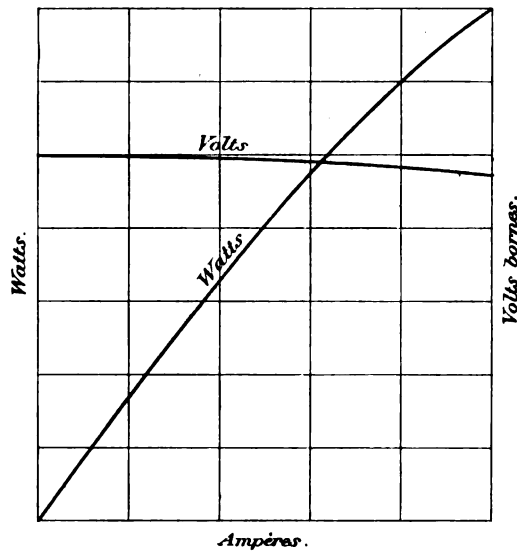
» Lorsqu'on branchera sur le réseau de nouveaux récepteurs (lampes ou moteurs), il se produira comme précédemment une *augmentation du courant*, mais la tension restera constante. La puissance fournie croîtra alors forcément et, par suite, la vitesse du moteur se ralentira. Comme précédemment, cette diminution de vitesse engendrera elle-même une perturbation électrique.

» La figure 17 représente dans ce cas la caractéristique en charge et la courbe des puissances.

» On voit donc que l'ordre de succession des perturbations peut être renversé, suivant l'importance de la réaction d'induit du générateur.

» Avec un générateur à forte réaction d'induit, la perturbation

Fig. 17.



électrique apparaît la première; c'est là une condition éminemment favorable pour éviter la complication de la perturbation mécanique.

» Pour obtenir le même résultat avec un générateur à réaction négligeable, on se trouve dans l'obligation d'employer le transformateur de compoundage inversé, pour faire tomber le voltage aux bornes du régulateur dès que le débit augmente et sans attendre la diminution de vitesse qui tend aussitôt à se produire.

» *Nécessité d'une action différentielle dans le régulateur automatique.* — Les fonctions multiples de l'appareil automatique peuvent se résumer comme suit :

» L'augmentation du courant, la diminution du voltage ou la diminution de la vitesse doivent commander l'ouverture de l'admission et l'augmentation de l'excitation.

» Par contre, la diminution du courant, l'augmentation du

voltage ou l'augmentation de la vitesse doivent commander la fermeture de l'admission et la diminution de l'excitation.

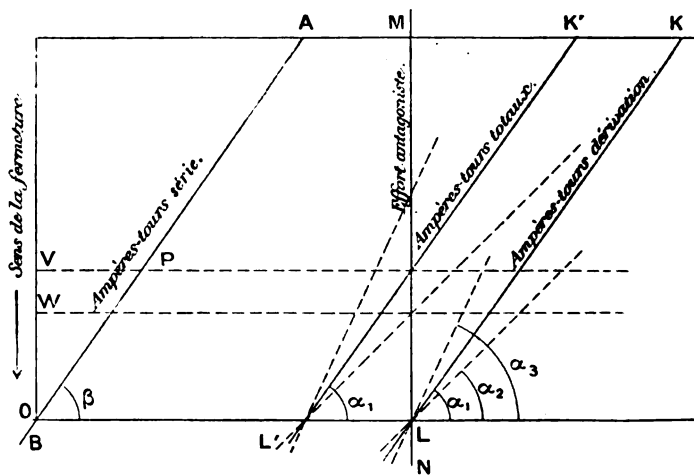
» Cette énumération indique clairement que la solution devait être demandée à un système différentiel; opposant l'effet produit par le courant aux effets du voltage et de la vitesse.

» Cette méthode permet d'obtenir une sensibilité et une stabilité incomparablement supérieures à celles des régulateurs purement mécaniques que nous avons étudiés précédemment. En effet, dans les régulateurs de vitesse, ces qualités ne sont obtenues, ainsi que nous l'avons vu, qu'au prix d'une tolérance dans la variation de la grandeur, qui devrait être maintenue constante.

» Avec le régulateur électromécanique, au contraire, la sensibilité et la stabilité ne dépendent que de l'effet ajustable à volonté du compoundage inversé. Elles peuvent donc être rendues incomparablement plus grandes que dans les anciens régulateurs, sans qu'il soit nécessaire d'admettre une tolérance quelconque dans les variations de la vitesse ou du voltage.

» Ce fait est mis très nettement en lumière par la figure 18, qui

Fig. 18.



représente les moments des efforts électromagnétique et antagoniste qui agissent sur le régulateur en fonction des positions du vannage portées verticalement.

» La ligne MN représente, tout comme dans la figure 2, le

moment de la force antagoniste (qui peut être constant ou variable suivant qu'on emploie un contrepoids ou un ressort).

» L'effort de succion magnétique exercé sur le noyau n'est fonction que du nombre total d'ampères-tours. Il nous suffira donc, dans le cas où la force antagoniste est constante, de porter sur le graphique, à une échelle convenable, d'une part les ampères-tours série AB et, d'autre part, les ampères-tours du circuit dérivé KL ⁽¹⁾.

» Les ampères-tours totaux seront représentés par la différence entre les ampères-tours du circuit dérivé et les ampères-tours série.

» Pour régler à voltage et vitesse constants, il suffit d'ajuster les résistances élémentaires du rhéostat de stoppage U (*fig. 12*) de telle façon que la ligne KL soit parallèle à la ligne AB. En effet, supposons qu'en partant de la marche à vide on ait à faire face à une augmentation brusque de charge qui exigerait un degré d'ouverture égal à OV. L'action différentielle substituera immédiatement à la ligne KL la ligne K'L' menée parallèlement à KL avec la condition $LL' = VP$.

» Un premier réglage s'effectuera brusquement à vitesse constante pour produire le degré d'ouverture OV (défini par la rencontre de MN avec K'L') qui ramènera le régulateur à la position d'inaction momentanée. On voit sur la figure que :

» 1° Si $\alpha = \beta$, le réglage sera définitif et maintiendra la constance de la vitesse et du voltage ;

» 2° Si $\alpha < \beta$, le mécanisme n'ouvrira pas assez pour l'équilibre stable. Il y aura donc tendance à un ralentissement qui provoquera un second réglage à vitesse variable. Il y aura finalement hypocompoundage ;

» 3° Si $\alpha > \beta$, le mécanisme ouvrira trop pour l'équilibre stable. Il y aura donc tendance à une augmentation de vitesse qui provoquera un second réglage à vitesse variable. Il y aura finalement hypercompoundage.

» On obtiendra donc à volonté l'hypo- ou l'hypercompoundage en inclinant plus ou moins la ligne KL par rapport à MN. Cet effet peut être obtenu par une manœuvre de leviers.

(1) Si nous admettons que la puissance de la turbine croît proportionnellement au déplacement du vannage, la ligne AB se réduira à une droite.

» Il est intéressant de remarquer qu'on peut aussi modifier en marche le degré de **compoundage** en déplaçant à la main le rhéostat de stoppage U par rapport à la touche de **contact** α .

» La figure 18 montre que les ampères-tours **série** pourraient atteindre, en pleine charge, une valeur double de celle des **ampères-tours** du circuit dérivé à vide. En supposant, ainsi que nous l'avons fait, que l'action du solénoïde en dérivation reste toujours **prépondérante**, on conserve donc une marge pour une surcharge **momentanée** pouvant atteindre le double de la valeur normale.

» La régularité de fonctionnement d'un groupe électrogène gouverné par un régulateur électromécanique pourvu d'un servo-moteur à action rapide est pratiquement indépendante de l'importance de la réaction d'induit.

» C'est là un avantage des plus appréciables, puisqu'il permet d'employer des machines à forte réaction, en réalisant à la fois une économie sur le prix d'acquisition et une majoration sensible dans le rendement du générateur.

» L'énergie absorbée par le régulateur est des plus minimales (100 watts environ dans le cas du courant continu); il s'ensuit que la construction des transformateurs de **compoundage** ne présente aucune difficulté.

» En terminant, je désirerais attirer votre attention sur la simplicité du système que je viens de vous présenter avec quelques détails indispensables en raison de sa nouveauté. Si nous l'envisageons dans son ensemble, nous constatons qu'il consiste tout simplement à utiliser l'augmentation ou la diminution du courant pour provoquer automatiquement le réglage simultané du moteur et du générateur; tout se passe comme si l'abonné, au moment même où il touche à son interrupteur, prenait la peine de manœuvrer à la fois, et de la quantité voulue, le rhéostat d'excitation et le vannage de la turbine; il ne lui en coûte heureusement ni dérangement ni fatigue. »

ÉCOLE SUPERIEURE D'ÉLECTRICITÉ.

PROMOTION VIII. -- 1901-1902.

Liste des élèves ayant obtenu le diplôme de fin d'études.

MM. HEFTY, DÉVÉ, DROUET, BAUDOUX,	} Officiers désignés par le Ministère de la Guerre.
MM. LACOSTE, DECENCIÈRE-FERRANDIERRE, BARRACHIN, VIOLLAND,	
	} Officiers et Ingénieurs désignés par le Ministère de la Marine.

MM.	MM.	MM.
1. DÉMARCHEZ.	22. IGLÉSIS.	43. DÉFLASSIEUX.
2. TERME.	23. BARRAL.	44. CHATEAU.
3. LOYE.	24. VINCENT.	45. LEFÈVRE.
4. CERVERA-Y-JACOME.	25. DE SAIVRE.	46. PATTIER-DUPONCEAU.
5. JOLY.	26. APVRILLE.	47. LEMERLE.
6. DE PONCHARRA.	27. BIVER.	48. COPONAT.
7. MONGIN.	28. JAULIN.	49. SEDZIAK.
8. GUITEL.	29. LEYVRAZ.	50. BOUDEVILLE.
9. RODIER.	30. FERRÉ.	51. DO PRADO.
10. BARGETON.	31. PETITALOT.	52. SOUCADAUCH.
11. ALLÉMANDI.	32. PETIT.	53. RICOU.
12. GAILLARD.	33. FERRIER.	54. CHÉRON.
13. LAMY.	34. GALANIS.	55. COQUILLE.
14. FINDELING.	35. STEVENIN.	56. CARRELET.
15. BAJETTO.	36. GALLET.	57. ÉLIE-LEFEBVRE.
16. BRUNEL.	37. DELON.	58. VEXIAU.
17. BOUTIN.	38. BELLETRUX.	59. RAGONOT.
18. MADELINE.	39. BOULITTE.	60. GROSDIDIER.
19. VIOLOT.	40. RÉGUIS.	61. HERMET.
20. FRICOTEL.	41. GUILHOU.	62. CORNABAT.
21. FLEURY.	42. MEIRELLES DA SILVA.	63. TEXIER.

Promotion 1900-1901.

M. BAUDOT.

Promotion 1899-1900.

M. DESVIGNES.

ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ.

MODIFICATIONS AUX CONDITIONS DE DISPENSE DU CONCOURS D'ENTRÉE.

Il est rappelé qu'à partir de l'année prochaine (disposition qui recevra son application aux opérations de rentrée du mois d'octobre 1903), *les élèves médaillés des Écoles d'Arts et Métiers*, dispensés du concours comme ayant obtenu aux examens de sortie, pour chacune des deux matières Mécanique et Physique, une moyenne au moins égale à 14, *devront*, pour être admis à l'École supérieure d'Électricité, *subir une épreuve orale sur le Calcul différentiel et intégral*.

Les *licenciés ès Sciences*, dispensés du concours comme pourvus des deux certificats de Physique générale et de Mécanique rationnelle, *devront subir une épreuve de Dessin industriel*, conformément au programme général d'admission.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Application de la méthode de la bouche à la recherche d'un défaut dans un câble triphasé souterrain, par M. Iliovici (M. P. Janet), p. 710. — Sur les mesures magnétiques industrielles (M. Armagnat), p. 714. — Influence des régulateurs sur le fonctionnement en parallèle des alternateurs et description d'un nouveau système de commande de ces régulateurs (M. de Marchena), p. 754.

PÉRIODIQUES ÉTRANGERS, p. 800.

BIBLIOGRAPHIE, p. 806.

OUVRAGES OFFERTS, p. 808.

AVIS, p. 810.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 5 novembre 1902 (1).

PRÉSIDENCE DE M. E. HARLÉ.

La séance est ouverte à 8^h40^m soir.

Le procès-verbal de la dernière réunion mensuelle est adopté.

M. le PRÉSIDENT. — « Messieurs, depuis notre dernière séance, au

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

mois de juillet dernier, nous nous sommes trouvés réunis à Grenoble, du moins un grand nombre d'entre nous, à l'occasion du Congrès de la houille blanche.

» Si nombreux étaient les membres de notre Société, si intéressantes ont été les communications et les visites d'usines de notre spécialité, que le Congrès de Grenoble a été pour nous comme une séance hors cadre, séance prolongée qui a duré plusieurs jours.

» Nous avons reçu le meilleur accueil des organisateurs du Congrès, qui se sont donné beaucoup de peine pour nous faire les honneurs de leur admirable pays et de ses très intéressantes installations hydro-électriques. Le Congrès de la houille blanche a fait à la Société des Électriciens l'honneur d'inscrire sur la liste de ses présidents d'honneur son président en exercice, votre serviteur, et son ancien président, M. Mascart.

» Je vous propose d'adresser les remerciements de notre Société aux organisateurs du Congrès et en particulier à son président M. Pinat. »

L'Assemblée ratifie cette proposition.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Bibliothèque (p. 808), de dons pour le Laboratoire et le Musée d'Électricité, ainsi que des demandes d'admission suivantes :

MM.

Bidault des Chaumes (Albert), Ingénieur civil, E. C. P., 35 bis, rue de Fleurus, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Brunel (Honoré-Paul-François), Diplômé de l'École supérieure d'Électricité, Préparateur à l'École supérieure d'Électricité, 8, rue Edme-Guillout, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Imbault (Georges-François), Ingénieur de la Maison Arnodin, Ingénieur résident à la construction du pont transbordeur de Newport (Angleterre), à Combleux, par Saint-Jean-de-Braye (Loiret). — Présenté par MM. Durand et Bourguignon.

Maréchal (Charles), Ingénieur, Directeur des services électriques à la Compagnie du gaz de Lyon, 12, place Carnot, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Loppé et Laurain.

Mestre (Marius-Constance-Eugène), Ingénieur des Arts et Manufactures, Chef du Secteur municipal d'Électricité, 7, rue des Écoles, à Paris. — Présenté par MM. Jannettaz et Laurain.

Saglio (Camille), Directeur de la Compagnie des Forges d'Audincourt et dépendances, à Audincourt (Doubs). — Présenté par MM. Violet et Carpentier.

Stanley (William), Great Barrington Mass. (U. S. A.). — Présenté par MM. Carl Hering et Kelly.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

POUR LE LABORATOIRE 1 compteur Stanley, n° 20993, 110 volts, 25 ampères (don de la Société française pour l'Industrie et les Mines).

POUR LE MUSÉE D'ÉLECTRICITÉ . . . 1 tableau provenant du laboratoire de M. Gustave Planté (don de M. Dary).

Des remerciements sont adressés aux auteurs de ces dons.

M. le PRÉSIDENT fait part des décès survenus parmi les Membres de la Société durant les vacances et adresse aux familles de MM. G. TROUVÉ, CH. PLANTÉ, H. URECH, CONSTANTINOWITCH, SOLIGNAC et BANDSEPT les regrets émus de la Société. Il rappelle que M. Bandsept, délégué général en Belgique, a rendu, particulièrement en cette dernière qualité, de grands services à la Société internationale des Électriciens, qui en conservera le souvenir reconnaissant.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

**APPLICATION DE LA MÉTHODE DE LA BOUCLE A LA RECHERCHE D'UN DÉFAUT
DANS UN CÂBLE TRIPHASÉ SOUTERRAIN.**

M. P. JANET. — « Le Laboratoire central d'Électricité a été récemment chargé de rechercher un défaut sur un câble triphasé souterrain d'une longueur totale de 6^{km} environ. Chaque conducteur de ce câble a une section de 90^{mm}². Lorsqu'on applique la méthode bien connue de la boucle à la recherche d'un défaut dans le cas de ces câbles à forte section, on est quelquefois gêné par la résistance des fils de secours et des contacts qui peuvent apporter des erreurs notables dans le résultat de la mesure. Profitant, dans le cas particulier qui nous occupe, de ce qu'il y avait deux conducteurs intacts sur trois, M. Ilievici, ancien élève diplômé de l'École supérieure d'Électricité, actuellement attaché au Laboratoire central, a modifié d'une manière heureuse la méthode classique, de manière à éviter cet inconvénient; c'est cette modification que je veux indiquer ici.

» Nous désignerons par I, II, III, les trois conducteurs du câble. Une mesure préliminaire avait donné :

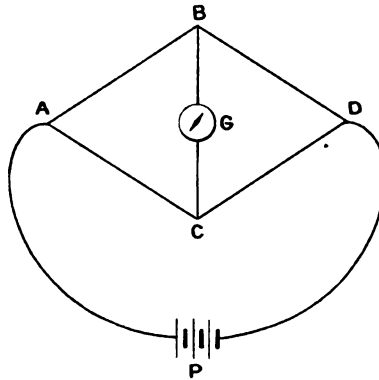
Isolement du conducteur I par rapport à la terre....	> 1 mégohm,
Isolement du conducteur II »	30 ohms (très variable),
Isolement du conducteur III »	> 1 mégohm.

» Les câbles I et III ayant été ainsi reconnus intacts, on a mesuré d'abord la résistance du conducteur II. Cette mesure n'est pas absolument nécessaire; nous indiquerons néanmoins le montage employé parce qu'il permet, comme le suivant, d'éliminer les résistances des contacts et des fils de connexion. La figure 1 donne le schéma ordinaire d'un pont de Wheatstone; la figure 2, où les mêmes lettres ont été conservées, donne le montage employé : il est aisé de voir que ce montage élimine l'effet des contacts et des fils de connexion, ces fils entrant dans la formation des bras du pont qui contiennent de grandes résistances. En particulier, dans la branche BC (où l'on tient compte d'ailleurs de la résistance du fil de connexion), il n'est pas difficile de rendre la résistance de

contact négligeable par rapport à 10 ohms. On a trouvé ainsi que la résistance du câble était de 1,05 ohm.

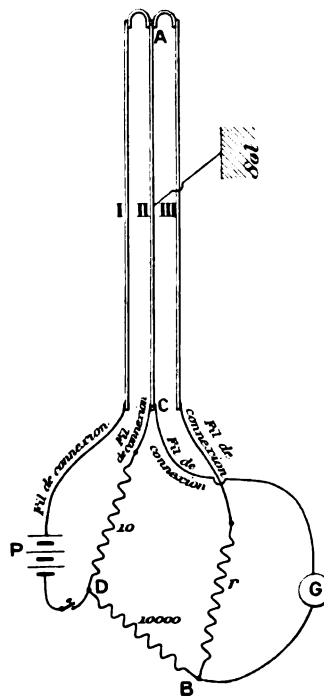
» Pour la recherche du défaut proprement dite, on a adopté le

Fig. 1.



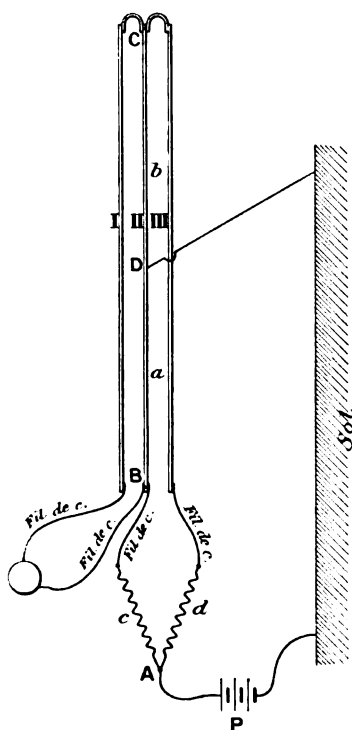
montage indiqué figure 3. La localisation du défaut revient à la

Fig. 2.



détermination du rapport des résistances $\frac{a}{b}$. La résistance c ayant été prise égale à 1000 ohms on a trouvé, pour d , 1600 ohms environ; ici encore il suffit de suivre la figure pour voir que tous les fils de connexion et les résistances de contacts se trouvent en série avec de très grandes résistances, et que leur effet est ainsi éliminé; les câbles I et III jouent le rôle de fil de connexion; comme on le sait, la résistance du câble I n'intervient pas dans la théorie du pont,

Fig. 3.



et la résistance du câble II (1,05 ohm) est négligeable par rapport à d qui est égal à 1600 ohms. On a trouvé ainsi que le rapport $\frac{a}{a+b}$ était compris entre 0,382 et 0,389, et l'on a pris la moyenne 0,385.

» La ligne dont il est question est sectionnée tous les 150^m par des boîtes de jonction; en supposant toutes les jonctions également bien faites, le défaut devait se trouver aux 0,385 de la ligne, entre deux boîtes de jonction A et B, et très près de B : il a été trouvé très près de B, mais, de l'autre côté, entre B et C.

D'ailleurs, le défaut ayant été localisé dans la section BC, sa position a été déterminée approximativement par la méthode précédente appliquée à la section BC; il a été trouvé à 1^m, 50 de B.

» Le galvanomètre employé dans ces mesures était un galvanomètre Deprez-d'Arsonval à microscope (modèle de la maison Carpentier). »

M. le PRÉSIDENT remercie MM. Ilievici et P. Janet.

SUR LES MESURES MAGNÉTIQUES INDUSTRIELLES.

M. ARMAGNAT. — « Les mesures magnétiques ne sont pas encore entrées dans la pratique courante de l'Industrie, surtout parce que les appareils spéciaux sont peu connus; en outre, des divergences ont été constatées entre les résultats et ont fait naître beaucoup d'incrédulité au sujet de ces mesures. Il semble intéressant, au moment où plusieurs Communications sur les propriétés magnétiques du fer sont annoncées, de présenter, comme une sorte d'introduction, un exposé critique des méthodes et des appareils industriels pour les mesures magnétiques,

» Avant tout, il est nécessaire de bien définir les grandeurs que nous aurons à mesurer et de rappeler quelques principes généraux.

» Les phénomènes magnétiques présentent, avec les phénomènes électriques, une différence capitale : ils dépendent presque autant des états antérieurs du corps magnétique que de son état actuel. De là résulte une première difficulté des mesures magnétiques, car il faut amener le corps étudié à un état susceptible d'être défini.

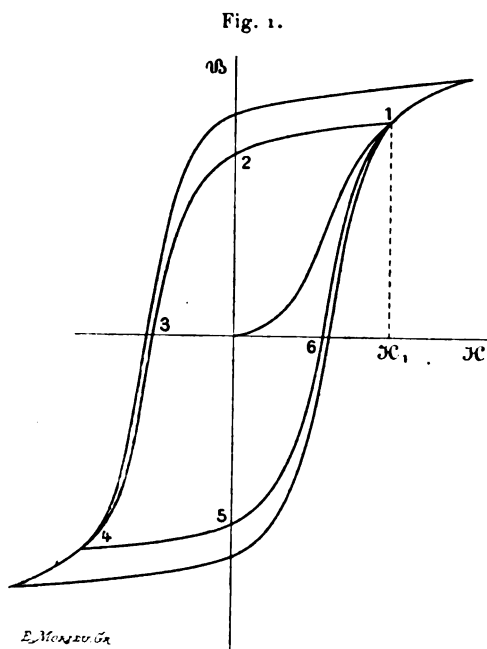
» Une autre difficulté vient des relations complexes et encore inconnues qui existent entre les différentes grandeurs magnétiques, et qui empêchent de caractériser les propriétés magnétiques d'un corps par un ou deux coefficients, comme on le fait, par exemple, pour la conductibilité.

» Enfin, un dernier ordre de difficultés vient de ce qu'il n'existe pas, pour le magnétisme, d'isolants, comme il en existe pour l'électricité; il en résulte que le flux de force n'est pas uniforme dans tout le circuit magnétique, ce qui introduit de graves causes d'erreur.

» Des différentes grandeurs magnétiques nous ne retiendrons que celles qui intéressent l'électrotechnique : l'induction $\mathfrak{B}$, le champ magnétisant $\mathfrak{H}$ et la perméabilité $\mu = \frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{H}}$; les autres grandeurs se déduisent facilement de celles-ci, par les formules connues. Il faut toujours bien se rappeler que les facteurs $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{H}$ et μ n'ont isolément aucun intérêt et qu'il faut toujours considérer en même temps deux d'entre eux : $\mathfrak{B} = f(\mathfrak{H})$, $\mu = \varphi(\mathfrak{H})$, $\mathfrak{B} = \psi(\mu)$.

» Les fonctions f , φ et ψ sont mathématiquement inconnues ; il faut les déterminer expérimentalement.

» Si nous plaçons un échantillon de fer dans un champ magnétique d'intensité $\mathcal{H}$, nous constatons que, quand cette intensité croît d'une façon régulière, l'induction $\mathcal{B}$ croît également (*fig. 1*).



Si, à partir d'un certain point $\mathcal{H}_1$, nous faisons décroître l'intensité, nous voyons que l'induction décroît aussi, mais sans repasser par les mêmes valeurs que pendant la marche croissante de $\mathcal{H}$. Enfin, si nous faisons varier régulièrement $\mathcal{H}$ de $+\mathcal{H}_1$ à $-\mathcal{H}_1$ et à $+\mathcal{H}_1$, l'induction suit cette variation, mais avec un *retard* ; nous obtenons la courbe 1, 2, 3. Ce retard de l'induction sur le champ magnétisant est le phénomène bien connu de l'*hystérésis* ; il ne faut pas le confondre avec le retard de l'aimantation en fonction du temps, qui est le *traînage* magnétique.

» En faisant l'opération précédente, nous avons fait parcourir un *cycle complet* au fer étudié et l'on démontre facilement que l'aire de la courbe ainsi tracée est proportionnelle à la dépense d'énergie, causée par l'hystérésis, lorsque le fer parcourt le cycle correspondant.

» La courbe complète d'un cycle magnétique peut-elle nous servir à caractériser les qualités magnétiques d'un fer ? Non, car il est facile de voir qu'à chaque valeur de $\mathcal{H}$ correspondent deux valeurs de $\mathcal{B}$ et réciproquement ; en outre, si nous traçons un autre cycle $\pm \mathcal{H}_2$, il diffère complètement du premier. De même, il nous est impossible de nous servir de la courbe qui représente l'induction de 0 à $\mathcal{B}$, qui est celle du fer vierge de toute aimantation antérieure, et qui, par conséquent, ne se reproduira pas par la suite. D'un autre côté, il est bien évident que nous avons surtout intérêt à connaître la valeur maxima de l'induction pour un champ magnétisant donné, ou inversement ; donc, si nous traçons une série de cycles magnétiques de grandeur croissante et si nous réunissons les sommets par une courbe, nous aurons une fonction bien définie entre $\mathcal{B}$ et $\mathcal{H}$. De même, en divisant chaque valeur de $\mathcal{B}$, prise sur cette courbe, par la valeur correspondante de $\mathcal{H}$, nous aurons la *perméabilité* μ . C'est d'après cette courbe que nous définirons les trois facteurs $\mathcal{B}$, $\mathcal{H}$ et μ . Le simple renversement du champ $\mathcal{H}$ et la mesure de la variation de $\mathcal{B}$ suffisent pour obtenir cette courbe, sans qu'il soit nécessaire de tracer le cycle complet.

» *Loi de Steinmetz.* — Il est facile de caractériser l'hystérésis par un seul coefficient, si l'on admet, comme *pratiquement vraie*, la loi empirique donnée par Steinmetz :

$$W = n V \eta \mathcal{B}^\alpha \mathcal{H} ;$$

l'énergie W dépensée par l'hystérésis est proportionnelle au nombre n de cycles parcourus, au volume V du fer soumis à l'aimantation, à un coefficient η qui varie avec l'échantillon de fer essayé et enfin à une puissance α de l'induction maximum par laquelle passe le cycle. M. Steinmetz admet $\alpha = 1,6$.

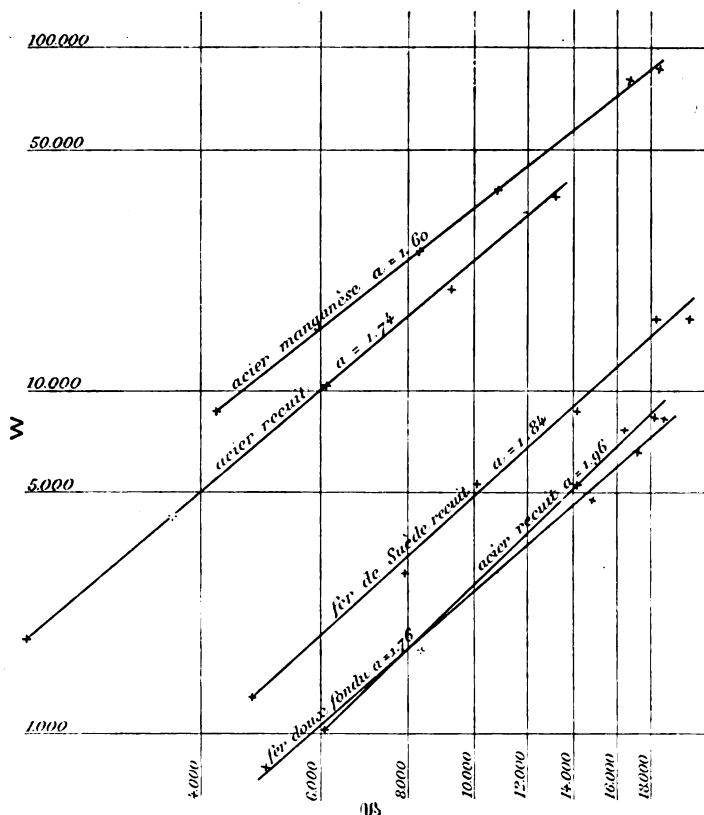
» Le coefficient η , que l'on appelle généralement *coefficient de Steinmetz*, est caractéristique du fer étudié ; plus il est élevé, plus grande est la perte d'énergie causée par l'hystérésis et plus le fer est mauvais ⁽¹⁾.

» Quelles restrictions peut-on faire à la loi de Steinmetz ? Il

(1) Le coefficient de Steinmetz représente, en ergs, l'énergie dépensée dans 1^{cm} de fer parcourant un cycle où $\mathcal{B}$ varie de + à — un gauss. D'autres formes sont

semble que, dans la plupart des cas, cette loi donne des résultats suffisants entre $\nu = 3000$ et 12000 . Les principales anomalies

Fig. 2.



constatées l'ont été en dehors de ces limites, et l'analyse des résultats publiés semble démontrer que la plus grande cause de divergences, abstraction faite des erreurs d'expériences, vient de la valeur de l'exposant α .

données à ce coefficient, elles ne diffèrent que par la grandeur; nous les rappelons ci-dessous :

Steinmetz...	Ergs par centimètre cube et par cycle,	$\nu = 1$	η .
Allemagne..	Watts par kilo, 50 périodes par seconde,	$\nu = 10000$	$P = 1530 \eta$.
Angleterre..	Ergs par centimètre cube et par cycle,	$\nu = 4000$	$W = 580000 \eta$.
» ..	Watts par livre, 100 périodes par seconde,	$\nu = 4000$	$P = 341 \eta$.

Le coefficient η a une valeur voisine de $0,002$ dans les bons fers employés actuellement; il descend rarement au-dessous de $0,001$, mais il monte quelquefois jusqu'à $0,004$.

» M. Weiss a donné, il y a plusieurs années, une traduction graphique simple de cette loi : il suffit de porter en abscisses les logarithmes de $\mathfrak{W}$, en ordonnées les logarithmes de W . Si η est réellement constant, on doit voir tous les points observés se placer sur une ligne droite dont l'inclinaison est proportionnelle à l'exposant x :

$$x = \frac{\log W - \log (n V \eta)}{\log \mathfrak{W}}.$$

» La figure 2, qui traduit les résultats d'expériences faites au Reichsanstalt de Berlin, met bien en évidence ce fait que, à part des anomalies dues évidemment à des erreurs expérimentales, les résultats sont bien représentés par la formule de Steinmetz, mais avec des exposants compris entre 1,60 et 1,96. Dans d'autres cas, on trouve pour x des valeurs inférieures à 1,6 ; mais il semble bien que ce chiffre est, en moyenne, assez près de la vérité.

» A ce point de vue, il est intéressant de se rendre compte de l'erreur que l'on commet en prenant 1,6 comme exposant au lieu de la valeur vraie. Soit ω_0 l'énergie dépensée, *par cycle et par centimètre cube*, dans un échantillon de fer soumis à l'induction maximum $\mathfrak{W}_0$; η_0 étant le coefficient *apparent*, nous devons avoir :

$$\omega_0 = \eta_0 \mathfrak{W}_0^{1,6},$$

mais, comme l'exposant réel est x , nous avons aussi :

$$\omega_0 = \eta_x \mathfrak{W}_0^x,$$

η_x étant la valeur *vraie* du coefficient. Partant de η_0 et de $x = 1,6$, nous calculerions, pour une autre valeur $\mathfrak{W}_1$:

$$\omega'_1 = \eta_0 \mathfrak{W}_1^{1,6} = \eta_x \mathfrak{W}_0^{x-1,6} \mathfrak{W}_1^{1,6},$$

tandis qu'à cette valeur nous avons réellement :

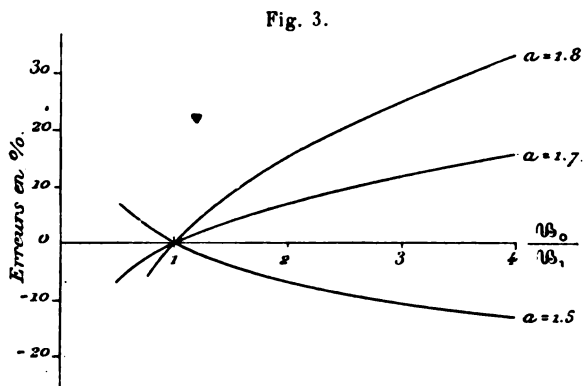
$$\omega_1 = \eta_x \mathfrak{W}_1^x,$$

ce qui donne, pour l'erreur relative commise sur ω_1 :

$$\frac{\omega'_1 - \omega_1}{\omega_1} = \left(\frac{\mathfrak{W}_0}{\mathfrak{W}_1} \right)^{x-1,6} - 1.$$

» L'erreur commise dépend donc du rapport entre l'induction $\mathfrak{W}_0$, à laquelle a été faite la mesure du coefficient, et l'induction $\mathfrak{W}_1$,

considérée. La figure 3 traduit ce résultat; les courbes sont tracées



pour les exposants 1,5 à 1,8; les ordonnées représentent les erreurs, et les abscisses les rapports $\frac{\psi_0}{\psi_1}$. Ces courbes montrent que, si ψ_0 ne dépasse pas deux fois ψ_1 , l'erreur commise sur ϖ ne dépasse pas 15 pour 100 quand $\alpha = 1,8$. Étant donné le peu de régularité des tôles du commerce, on voit que la loi de Steinmetz peut rendre encore de grands services.

» *Circuit magnétique.* — Dans la détermination de la courbe $\psi = f(\mathcal{H})$, le facteur le plus difficile à mesurer n'est pas ψ , comme on pourrait le penser *a priori*; en effet, quand le circuit magnétique n'est pas homogène, il faut tenir compte des parties étrangères à l'échantillon mesuré, et la correction à faire comporte un certain aléa à cause des facteurs inconnus ou impossibles à mesurer exactement; or, dans la plupart des perméamètres que nous aurons à examiner, l'échantillon est un barreau droit, placé dans un bloc de fer destiné à former court-circuit magnétique.

» Pour bien comprendre le rôle du terme de correction et des facteurs inconnus, il suffit de se reporter à l'équation classique du circuit magnétique :

$$4\pi NI = \psi S \left(\frac{l}{\mu S} + \frac{l'}{\mu' S'} + \frac{l''}{\mu'' S''} + \dots \right);$$

l, l', l'' , longueurs des différentes parties du circuit magnétique;

S, S', S'' , sections de ces parties;

μ, μ', μ'' , perméabilités;

N , nombre de tours total de la bobine magnétisante;

I, intensité du courant magnétisant ;

$\mathfrak{B}$, induction dans l'échantillon de fer dont la longueur est l , la section S et la perméabilité μ .

» Pour tirer de cette équation la valeur du champ $\mathfrak{H}$ réellement appliqué au fer étudié, il suffit de se rappeler que :

$$\mathfrak{H} = \frac{\mathfrak{B}}{\mu};$$

on obtient alors :

$$\mathfrak{H} = \frac{4\pi NI}{l} - \left[\frac{\mathfrak{B} S}{l} \left(\frac{l'}{\mu' S'} + \frac{l''}{\mu'' S''} + \dots \right) \right] = \frac{4\pi NI}{l} - C.$$

» Le terme entre crochets, ou C , est constant pour une induction et un circuit magnétique donnés ; si l'on connaît tous les facteurs l' , l'' , S' , S'' , μ' et μ'' , on peut calculer à l'avance, pour chaque valeur de $\mathfrak{B}$, la correction C à appliquer ; on peut également, à l'aide d'un échantillon de fer, préalablement étudié, déterminer expérimentalement cette correction.

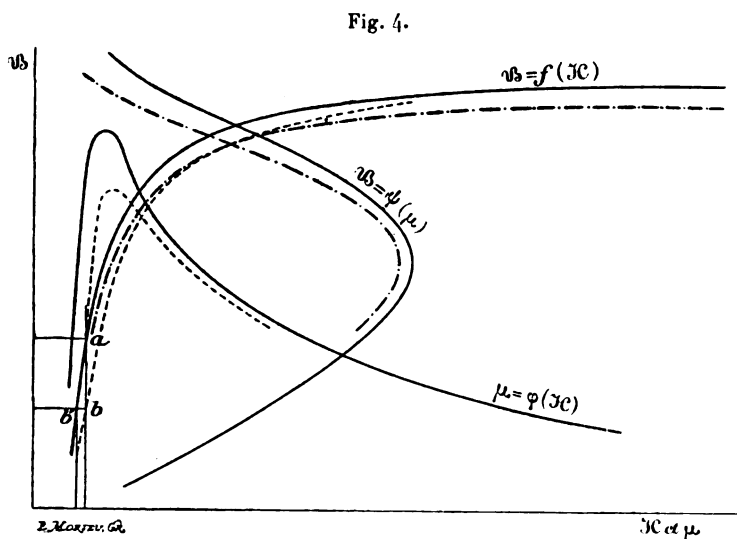
» Mais la correction ne porte naturellement que sur les parties connues et constantes du circuit magnétique ; tout ce qui est susceptible de varier n'y entre pas. Or, dans tous les appareils où le circuit magnétique est fermé par un bloc de fer, il faut établir un contact aussi parfait que possible entre l'échantillon et le bloc de fer. Deux solutions se présentent pour les perméamètres industriels : 1° trouver la forme de joint qui donne le contact le plus parfait tout en étant d'une exécution facile, ou 2° éliminer ce contact.

» Nous verrons, en examinant les appareils, les différentes formes de joints qui ont été adoptées, mais nous pouvons, dès maintenant, souligner l'importance de cette question par une simple remarque : quand le contact a lieu en bout, ce qui est souvent le cas, la surface de joint est égale à la section du barreau et le joint équivaut à une longueur μ fois plus grande de celui-ci. Pour donner un exemple concret, si le joint forme un entrefer de 0^{mm},01 de longueur, ce qui n'est pas excessif, et si la perméabilité est égale à 3000, le joint équivaut à une augmentation de 3^{cm} sur la longueur de l'échantillon !

» *Représentation graphique.* — Puisque la fonction qui relie $\mathfrak{B}$

et $\mathcal{H}$ n'a pas d'expression mathématique connue, il est utile de représenter les résultats de l'expérience par une courbe.

» On peut, comme nous l'avons déjà fait, porter $\mathfrak{B}$ en ordonnées et $\mathcal{H}$ en abscisses (*fig. 4*). On a souvent besoin de connaître la



perméabilité μ qui correspond à une induction $\mathfrak{B}$ ou à un champ magnétisant $\mathcal{H}$ donnés, ce qui conduit au tracé des courbes $\mathfrak{B} = \psi(\mu)$ et $\mu = \varphi(\mathcal{H})$.

» Avons-nous des raisons pour préférer l'une de ces courbes ? Nous pouvons envisager la question de deux façons différentes : la courbe est destinée à spécifier les qualités d'un fer donné et alors elle doit tenir compte de ces qualités seulement, en éliminant, autant que possible, les erreurs expérimentales ; ou, au contraire, la courbe doit servir à se rendre compte de la valeur d'une mesure, par conséquent elle doit mettre les erreurs expérimentales en relief. Dans le premier cas nous avons intérêt à prendre $\mathfrak{B} = f(\mathcal{H})$, dans le second $\mathfrak{B} = \psi(\mu)$ ou $\mu = \varphi(\mathcal{H})$.

» Supposons que, dans les mesures, un joint imparfait introduise une erreur sur $\mathcal{H}$; au lieu de la courbe réelle l'appareil va nous donner la courbe pointillée n (*fig. 4*). Comme il est facile de le voir, cette courbe se confond presque avec la courbe réelle dans la partie supérieure, tandis qu'elle s'en détache nettement avant le coude. La conséquence est celle-ci : d'après la mesure de l'intensité,

nous croyions avoir le champ $\mathcal{X}$ qui correspond au point a , alors que nous avions seulement celui qui correspond au point b' , par suite nous n'avons pu mesurer que l'induction b' , mais nous l'avons portée en b , dont l'abscisse est celle de a ; en traçant la courbe $\mathfrak{W} = f(\mathcal{X})$ nous voyons que l'erreur est seulement celle du champ $\mathcal{X}$, tandis que, si nous avions considéré la perméabilité μ seule, nous aurions multiplié cette erreur d'autant plus que l'inclinaison de la courbe aurait été plus grande. Par suite de la différence d'échelle, les courbes $\mathfrak{W} = \psi(\mu)$ et $\mu = \varphi(\mathcal{X})$ mettent ces erreurs en évidence; pour cette cause elles ne sont nullement caractéristiques du fer essayé, mais elles permettent, plus sûrement, la comparaison des méthodes ou des appareils.

» Pour la même raison, dans la partie supérieure de la courbe $\mathfrak{W} = f(\mathcal{X})$, une très petite erreur sur $\mathfrak{W}$ conduit à des différences considérables sur $\mathcal{X}$ et, par suite, sur μ ; les différences sont aussi exagérées dans les courbes ψ et φ .

» *Tolérance.* — Ces considérations nous amènent à un moyen assez simple pour définir la tolérance à accorder dans les conditions d'un marché. Il pourra se présenter deux cas : ou la courbe indiquée dans le marché devra être la limite de ce qu'on peut accepter et alors les échantillons essayés devront donner des courbes comprises entre l'axe des ordonnées et la courbe indiquée, ou bien, la fourniture de fer devra être conforme à l'échantillon ayant donné la courbe indiquée et alors il faudra définir les écarts acceptables. Cette tolérance sera bien définie en disant que les échantillons essayés devront donner la courbe $\mathfrak{W} = f(\mathcal{X})$ adoptée, avec une tolérance de n pour 100 sur $\mathcal{X}$ et de m pour 100 sur $\mathfrak{W}$. Graphiquement, cette condition est traduite sur la figure 4. La courbe n est la courbe $\mathfrak{W}$ dans laquelle $\mathcal{X}$ a été multiplié par $1 + n$; dans la courbe m , $\mathfrak{W}$ a été multiplié par $1 - m$. Ces deux courbes se coupent en a , elles forment avec $\mathfrak{W}$ une zone dans laquelle doit être inscrite la courbe du fer étudié pour répondre aux conditions imposées. Étant donné que les causes d'erreurs sont beaucoup plus nombreuses pour les basses valeurs de $\mathfrak{W}$, il paraît bon de prendre $n > m > 5$ pour 100.

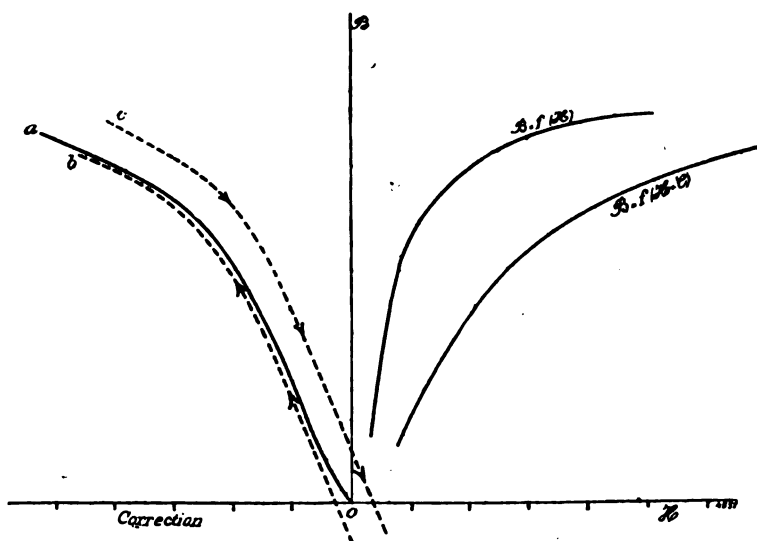
» Enfin, dans les applications où un point seulement de la

courbe est intéressant, on définira la tolérance par les mêmes considérations que ci-dessus en indiquant $\mathcal{X}$ à n pour 100 près dans le bas de la courbe et $\mathcal{V}$ à m pour 100 près dans le haut.

» *Courbe de correction.* — Avant de quitter ce qui a trait à la représentation graphique des résultats, nous pouvons voir comment se traduit le terme de correction. Comme nous l'avons vu, ce terme renferme tout ce qui est relatif au bloc de fer, aux entrefers et aux joints invariables. Le terme de correction a une valeur constante pour chaque valeur de $\mathcal{V}$; on peut donc tracer, à gauche de l'axe des y , une courbe a représentant $\mathcal{V}$ en fonction de la correction (*fig. 5*). Si l'on porte les valeurs observées de $\frac{4\pi NI}{l}$ à partir de cette courbe, on trace immédiatement la courbe $\mathcal{V} = f(\mathcal{X})$.

» Un joint imparfait se traduit par une augmentation de la cor-

Fig. 5.



rection proportionnelle à $\mathcal{V}$; mais, comme cette augmentation est inconnue, il en résulte une erreur.

» Il faut remarquer que l'erreur de joint *diminue* le champ réel de telle sorte qu'elle conduit toujours à des perméabilités trop faibles. Par conséquent, de toutes les courbes données par un même appareil, il faut choisir la plus favorable, c'est-à-dire celle qui donne la plus faible valeur de $\mathcal{X}$ pour la même valeur de $\mathcal{V}$.

De cette considération il faut tirer la règle pratique suivante : *Dans tous les appareils où les joints modifient la valeur de $\mathfrak{X}$, il faut faire et défaire les joints plusieurs fois de suite, avant la mesure, et s'arrêter à la position qui, pour $\mathfrak{X}$ constant, c'est-à-dire pour une intensité de courant constante, donne la valeur la plus élevée de $\mathfrak{B}$.* Ce réglage de joint doit être fait vers la perméabilité maximum, quand $\mathfrak{B}$ est compris entre 4000 et 8000.

» *Précautions à prendre dans les essais.* — Pour que les mesures magnétiques aient une valeur réelle il faut prendre certaines précautions, tant dans la préparation des échantillons que dans le traitement magnétique qu'on leur fait subir.

» Le fer à essayer doit être prélevé dans la masse d'une fourniture et, par conséquent, il faut donner aux échantillons la forme appropriée à l'appareil d'essai. Il faut toujours s'efforcer de réduire le travail de l'échantillon au minimum, en choisissant les moyens les moins susceptibles d'altérer l'état physique du métal. Une opération qu'il faut éviter, avant tout, c'est le martelage ou le forgeage de l'échantillon; une pièce ainsi traitée peut différer complètement de la masse de fer dans laquelle elle a été prise.

» Pour les tôles, le découpage à la cisaille ou à l'emporte-pièce peut être admis, à la condition que l'outil coupe bien et qu'il soit bien ajusté, de façon à réduire la zone atteinte par le cisaillement. Pour les rondelles, le découpage au tour altère évidemment moins le métal, mais il est beaucoup plus long.

» On peut mettre le fer dans un état bien défini par un recuit soigné; mais cette solution, difficile dans l'application, parce que les températures de recuit ne sont pas les mêmes pour tous les fers, a le gros inconvénient de placer l'échantillon dans des conditions tout à fait différentes de celles du lot dans lequel il a été prélevé. Or, le lot doit être, sauf de rares exceptions, employé tel quel; c'est donc son état actuel qu'il faut connaître; de là la nécessité de modifier le moins possible cet état. En outre, on sait que le fer parfaitement recuit est dans un état souvent instable et que, par exemple, son hystérésis peut diminuer par le recuit, puis remonter ensuite par la seule action du temps (vieillissement) ou par l'action des températures atteintes dans les machines.

» Puisque, par le recuit, on peut amener le fer à un état qui n'est pas permanent, il peut être utile, à la réception d'une fourniture, de s'assurer que le fer n'est pas dans cet état. Des essais faits de divers côtés ont montré que l'on peut provoquer un *vieillessement artificiel* du fer par un chauffage à l'étuve, à 140°, pendant quelques jours seulement. Dans ces conditions on voit l'hystérésis de certains échantillons augmenter très rapidement, tandis que d'autres restent constants.

» La seule réserve à faire à cette méthode est relative à la température de l'étuvage, certains fers étant susceptibles de varier à des températures un peu différentes, tout en restant invariables à 140°.

» Ce que nous avons vu des cycles magnétiques montre que le fer n'arrive pas immédiatement à un état magnétique défini; donc, si nous voulons faire parcourir à l'échantillon un cycle connu, soit pour déterminer le cycle entier ou un de ses points, nous n'y arriverons qu'après lui avoir fait parcourir le cycle complet un certain nombre de fois. D'où cette règle générale et absolue, quelle que soit la mesure à effectuer, de renverser le courant, ou le champ, à plusieurs reprises avant chaque mesure, l'intensité étant réglée à la valeur qui correspond au cycle étudié.

» *Méthode balistique.* — Nous ne citerons que pour mémoire la méthode du magnétomètre, qui a fourni, dans les mains des physiciens, des résultats excellents, mais dont l'emploi exige un ensemble de conditions impossible à rencontrer dans l'industrie.

» La méthode balistique, bien qu'un peu longue et exigeant des expérimentateurs exercés, est, par excellence, la méthode des laboratoires; c'est à elle qu'on doit toujours recourir dans les cas douteux, pourvu que la forme des échantillons à étudier s'y prête.

» En principe, cette méthode consiste à mesurer la quantité d'électricité q , induite par une variation brusque du courant magnétisant, dans une bobine de n tours enroulée sur le fer étudié. Si cette variation fait passer l'induction de $\mathfrak{B}_0$ à $\mathfrak{B}_1$, la quantité a pour valeur :

$$q = \frac{Sn (\mathfrak{B}_0 - \mathfrak{B}_1)}{R},$$

en appelant S la section du fer et R la résistance du circuit induit (¹).

» La quantité q se mesure au galvanomètre balistique et, comme il est possible d'employer les galvanomètres à cadre mobile, la méthode peut être aisément appliquée dans un laboratoire industriel.

» Pour donner à cette méthode toute sa précision, il est nécessaire que la valeur du champ $\mathcal{H}$ soit facile à déterminer, ce qui oblige à donner à l'échantillon la forme d'un tore ou celle d'un barreau droit à grande longueur, seules formes susceptibles d'être calculées exactement.

» Le tore est la forme préférable pour les essais de tôles; les échantillons sont découpés en anneaux, de faible largeur relativement à leur diamètre, et empilés jusqu'à former l'épaisseur convenable. Il faut ensuite, et c'est là le défaut de la méthode, enrouler sur ce tore la bobine magnétisante et la bobine induite; ces deux enroulements doivent être aussi réguliers que possible et il faut avoir soin de compter les tours de fil exactement.

» Avec le barreau droit on évite de refaire les enroulements à chaque échantillon, parce qu'il est facile de construire une bobine magnétisante de la longueur de l'échantillon et d'un diamètre tout juste suffisant pour le contenir. La bobine induite est alors enroulée au milieu de la première, de façon à mesurer le flux dans la région où il est uniforme. Malheureusement, il est nécessaire de donner au barreau droit une très grande longueur, par rapport à son diamètre, 300 à 500 fois, ce qui conduit à des dimensions peu pratiques; aussi ce moyen est très rarement employé.

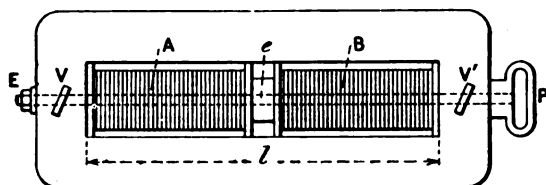
» *Appareil d'Hopkinson.* — L'appareil d'Hopkinson (1885) fournit une solution plus commode en ce sens que les bobines sont faites une fois pour toutes et que les échantillons ont des dimensions plus pratiques. Il se compose d'un gros bloc de fer percé d'une ouverture rectangulaire, dans laquelle sont logées deux bobines magnétisantes, A et B (*fig. 6*), avec la bobine induite e entre elles. Les deux petits

(¹) Pour l'emploi de la méthode balistique et le tracé complet des cycles, consulter les *Traité des mesures*.

côtés du bloc sont percés de trous cylindriques, concentriques aux bobines et bien alésés, dans lesquels passe la barre de fer étudiée. Des vis de pression VV' permettent de serrer la barre dans son logement. Les dimensions de l'échantillon sont, généralement : 50cm de long sur environ 1cm^2 de section.

» Primitivement l'appareil d'Hopkinson était employé en arrachant brusquement la bobine induite du circuit magnétique. La barre était coupée en deux parties dont les bouts, bien dressés, se rejoignaient entre les bobines A et e . La partie la plus courte du barreau était fixée solidement en place à l'aide d'un écrou E , tandis

Fig. 6.



que l'autre partie pouvait être retirée à l'aide de la poignée P . Le courant traversant les bobines magnétisantes, les deux morceaux de la barre étant bien au contact et la bobine induite reliée au galvanomètre balistique, on arrache brusquement le barreau mobile et la bobine induite, n'étant plus retenue, est entraînée par un ressort; elle passe ainsi du flux μS à 0. Cette façon de procéder donne aux erreurs de joints une influence prépondérante, parce que le dressage des bouts des barreaux est assez délicat et parce que le jeu qu'il faut bien laisser au barreau mobile dans le trou du bloc produit une réluctance souvent considérable et jamais constante.

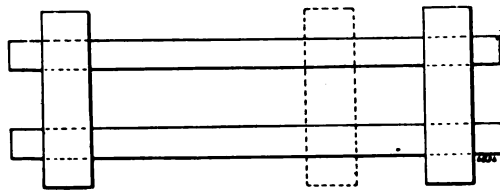
» On peut tirer un meilleur parti de l'appareil d'Hopkinson en laissant la bobine induite fixe et en procédant par variation de courant. Dans ce cas, le barreau est d'une seule pièce et l'on peut le tourner de façon qu'il s'ajuste exactement dans le bloc; il ne reste plus alors que deux joints de grande surface.

» Avec l'appareil d'Hopkinson, on fait usage de la formule du circuit magnétique, c'est-à-dire qu'il faut, pour connaître $\mathcal{R}$, diviser les ampères-tours par la *longueur effective* du barreau et faire la correction relative à la réluctance du bloc de fer. La longueur effective du barreau est assez difficile à déterminer avec le joint latéral

employé dans cet appareil; de plus, la correction est difficile à calculer; *cette double difficulté, qui se retrouve dans tous les appareils à bloc de fer, conduit à déterminer la correction expérimentalement, à l'aide d'un barreau étudié par d'autres moyens.*

» *Méthode d'Ewing.* — Une méthode fort élégante pour étudier les barreaux étalons, en éliminant l'erreur des joints, a été fournie par Ewing; elle consiste à étudier ensemble deux barreaux identiques, que l'on place dans des bobines magnétisantes et que l'on réunit par deux *jougs* en fer bien ajustés (*fig. 7*). Dans ces condi-

Fig. 7.



tions, le circuit magnétique se compose des deux barreaux, des deux jougs et des quatre joints. La longueur effective des barreaux est la distance entre les deux faces internes des jougs, plus une quantité inconnue qui dépend de l'épanouissement des lignes de force entre les barreaux et les jougs. Les bobines magnétisantes remplissant exactement l'espace entre les jougs, et une bobine induite étant placée sur l'un des barreaux, on mesure l'induction $\mathfrak{B}$ qui correspond à différentes valeurs du courant magnétisant.

» Si, ensuite, on déplace un des jougs, de façon à doubler la distance, par exemple, et si l'on place de nouvelles bobines magnétisantes, afin de couvrir toute la longueur des barreaux, on peut obtenir une nouvelle série de mesures de $\mathfrak{B}$ en fonction de I . Or, *si nous supposons que l'ajustage des joints est assez bien fait pour que leur réluctance ne change pas quand on déplace le joug*, nous voyons qu'une seule chose a varié : c'est la longueur effective des barreaux et elle a varié exactement de la quantité dont nous avons déplacé le joug. Donc, pour chaque valeur de $\mathfrak{B}$, les ampères-tours qu'il a fallu ajouter dans la deuxième expérience ont été uniquement absorbés par la longueur ajoutée, ce qui permet de connaître exactement la valeur de $\mathfrak{K}$.

» Pratiquement, cette méthode ne donne des résultats exacts que dans des cas exceptionnels, lorsque l'ajustage des jòugs a été parfaitement exécuté; avec des joints ordinaires, elle donne des valeurs trop fortes ou trop faibles, selon que le joint a été meilleur dans l'une ou l'autre des deux mesures.

» *Perméamètre de Drysdale.* — Un appareil, récemment présenté en Angleterre par M. Drysdale (1901) rappelle un peu l'appareil d'Hopkinson, et, comme la méthode employée de préférence est la méthode balistique, nous pouvons le placer ici. Le point de départ de M. Drysdale est le désir, souvent exprimé par les constructeurs, de pouvoir étudier la qualité du fer sur la pièce essayée elle-même, sur une carcasse de dynamo, par exemple, sans altérer cette pièce et sans être obligé d'en prélever une partie importante. Cette forme d'essai est intéressante pour les pièces fondues ou forgées; elle n'a aucun intérêt pour les tôles.

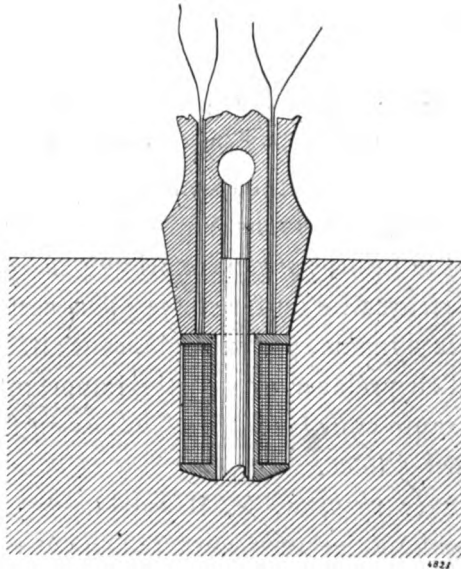
» Pour arriver à ce résultat, M. Drysdale perce, dans le fer à essayer, des trous annulaires, assez petits pour être forés dans une partie où ils ne causent aucune perturbation : dans l'emplacement les trous de boulons, par exemple. Le trou, qui est percé au moyen d'une fraise annulaire spéciale, a, dans sa partie cylindrique, un diamètre de 9^{mm},95 et une profondeur totale de 16^{mm} environ; la figure 8 en montre la coupe. La tige cylindrique, réservée au centre, constitue la pièce d'essai; elle a un diamètre de 2^{mm},5. Chaque trou peut être percé en 10 à 20 minutes, à l'aide d'une fraise spéciale.

» En plaçant une bobine magnétisante sur la tige centrale et en fermant le circuit magnétique à l'aide d'un bouchon de fer doux, on constitue un perméamètre, analogue à celui d'Hopkinson, dans lequel l'échantillon a une longueur effective de 12^{mm},7. Le bouchon destiné à fermer le circuit magnétique est conique, de façon à s'ajuster exactement dans la partie supérieure du trou, qui est également conique, et il est fendu, de façon à venir se serrer sur la tige centrale.

» La bobine magnétisante est attachée au bouchon de fer, et le tout est monté sur un manche qui facilite la manipulation. La bobine renferme deux enroulements : bobine magnétisante et bobine induite; la première est enroulée de telle sorte que le champ $\mathcal{H}$,

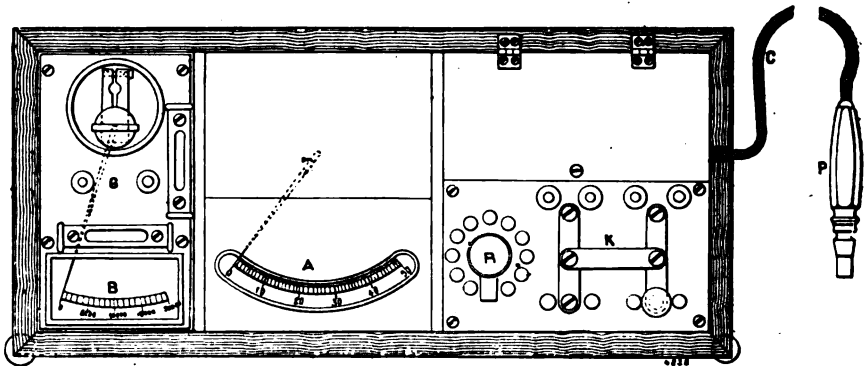
exprimé en gauss, est numériquement égal à l'intensité, exprimée en milliampères. L'appareil est construit pour un maximum de

Fig. 8.



100 gauss. Les extrémités des enroulements sont reliées à des fils.

Fig. 9.



souples qui traversent la poignée et vont s'attacher dans la boîte de manipulation.

» L'inventeur a réalisé deux formes de boîtes de mesures. La première permet seulement de mesurer la valeur de la perméabilité qui correspond à une force magnétisante unique et supposée con-

stante (elle est fournie par des piles sèches!). Le galvanomètre balistique est gradué directement en perméabilités. La boîte de mesures renferme deux éléments de pile sèche, un galvanomètre balistique et une clef d'inversion.

» Le second modèle est plus complet (*fig. 9*). Il renferme en plus le milliampèremètre A et le rhéostat R. Le galvanomètre balistique G est gradué en valeurs de μ . Avec cette boîte on peut tracer le cycle complet par la méthode de Rowland, ou la courbe $\mu = f(\mathcal{H})$, par renversement.

» Le défaut de cet appareil est la faible longueur de l'échantillon, ce qui donne à l'erreur des joints une importance capitale, de sorte qu'il est presque impossible de tracer la partie inférieure de la courbe.

» *Pont magnétique d'Ewing.* — Avec le pont magnétique d'Ewing (1896) nous entrons dans une voie tout à fait différente. Un pont magnétique a été réalisé par Edison dès 1887, puis de nouvelles formes ont été données successivement par Eickemeyer (1889) et par Kennelly et Holden (1897). Le schéma du pont d'Ewing est le suivant : les deux barreaux à comparer A et B, (*fig. 10*) sont identiques comme dimensions et placés chacun dans une bobine magnétisante ; leurs extrémités s'engagent dans des culasses de fer, de grande section et de faible longueur, où elles sont serrées par des vis latérales V. Lorsque la force magnétomotrice, dans chaque bobine, est proportionnelle à la réluctance de la barre correspondante, les deux culasses de fer sont au même potentiel magnétique et le rapport des ampères-tours dans les deux bobines donne le rapport des réluctances.

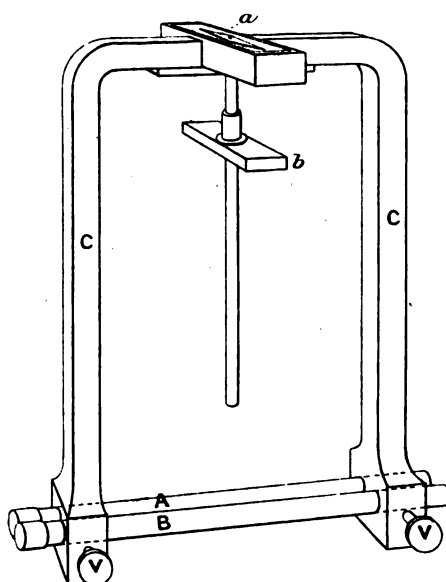
» Dans l'appareil d'Ewing, le moyen employé pour constater l'égalité des potentiels magnétiques des deux culasses consiste à les faire agir sur une aiguille aimantée a , portée par un pivot et placée entre deux cornes de fer doux CC qui s'attachent aux culasses. Un petit aimant directeur b sert à orienter l'aiguille perpendiculairement à la direction des cornes.

» Le réglage se fait en modifiant le nombre de tours de la bobine qui agit sur la barre étudiée, la barre étalon étant placée dans le champ constant de l'autre bobine. Les deux bobines sont parcou-

rues par le même courant. Deux commutateurs à cadran placés sur la boîte de manœuvre font varier le nombre des spires actives de la bobine et remplacent celles qu'ils retirent par une résistance équivalente, afin de maintenir l'intensité constante. La deuxième bobine renferme normalement 100 tours de fil, mais on peut réduire ce nombre à 50 pour l'essai des fers très différents de l'étalon. Comme la longueur effective des échantillons est de $12^{\text{cm}},56$, le champ est égal à 10 ou à 5 gauss par ampère.

» La manœuvre consiste à faire varier les ampères-tours sur le

Fig. 10.



barreau étudié, pendant que l'on renverse, à plusieurs reprises, le courant magnétisant ; le réglage est fini quand l'aiguille aimantée ne subit plus de déviation *permanente* après chaque renversement ; de petites déviations *temporaires* peuvent se produire, causées par des inégalités dans la vitesse de désaimantation des deux barreaux.

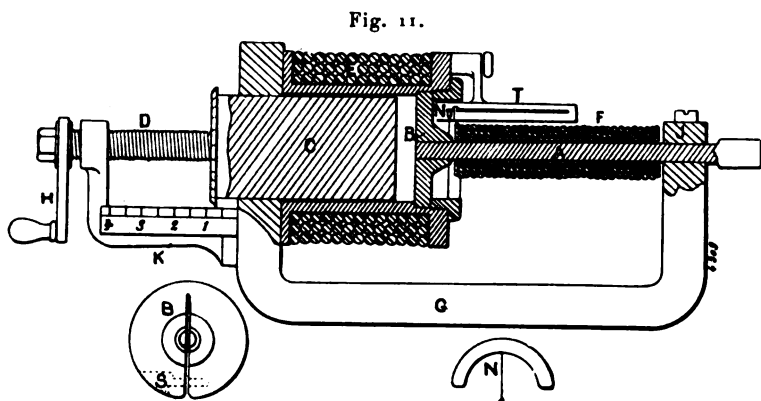
» La mesure finie et le courant magnétisant observé, il suffit de se reporter à la courbe fournie avec le barreau étalon. Comme on connaît le champ $\mathcal{H}$ sur le barreau étalon, la courbe donne la valeur correspondante de $\mathfrak{H}$, et le rapport des nombres de tours donne le champ $\mathcal{H}'$ qui produit la même induction $\mathfrak{H}$ sur le fer étudié. Il y a

une petite correction à faire pour tenir compte des culasses et de l'épanouissement des lignes de force.

» *Perméamètre Treat et Esterline.* — Cet appareil (1897) diffère du précédent par l'emploi d'une armature de dynamo qui tourne, à vitesse connue et constante, entre les projections des deux culasses. Un voltmètre mesure la force électromotrice donnée par l'armature ; à l'équilibre la force électromotrice est nulle.

» *Perméamètre Lamb et Walker.* — Le principe de l'appareil tout récent de MM. Lamb et Walker (1901) consiste à égaler la réluctance de l'échantillon à celle d'un entrefer de longueur variable et de section constante ; par là il se rapproche des ponts magnétiques.

» Le fer étudié, A (*fig. 11*), est serré dans un joug G, en fer, et



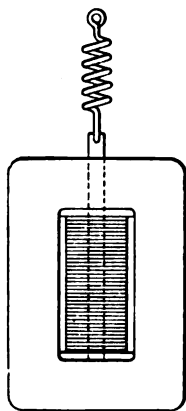
dans une culasse B, également en fer ; il est entouré d'une bobine magnétisante F. Le circuit magnétique est complété par l'entrefer compris entre la culasse B et le piston de fer C. Ce dernier, conduit par une vis D, traverse, à frottement doux, l'autre extrémité du joug G. Une bobine magnétisante E entoure le piston et l'entrefer. Les bobines E et F étant parcourues par le même courant, le potentiel magnétique de la culasse B devient nul quand les réluctances de l'entrefer et du barreau sont égales, ou, plus généralement, quand les réluctances sont dans le même rapport que les forces magnétomotrices. Une petite aiguille aimantée N, munie d'un index T, sert à vérifier l'absence d'aimantation de la culasse B. La manœuvre de l'instrument consiste à régler l'entrefer jusqu'à ce

que l'aiguille ne dévie plus après chaque renversement du courant.

» L'équilibre étant obtenu, on lit, sur l'échelle K et sur le cadran divisé qui termine le piston vers la gauche, la longueur de l'entrefer. Une table, ou une courbe, de graduation donne la valeur de la perméabilité, tandis que la valeur de μ se déduit du courant magnétisant.

» *Perméamètres à arrachement.* — Comme la force portante des aimants est proportionnelle à μ^2 , il était tout indiqué de se servir de cette propriété pour la mesure de μ . Parmi les dispositions imaginées dans ce but, la plus connue est celle de S. Thompson. Dans ce perméamètre (*fig. 12*) le barreau étudié pénètre dans un bloc de

Fig. 12.

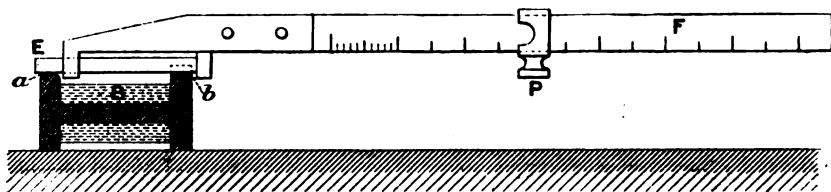


fer, par un trou cylindrique percé dans un des petits côtés, et il traverse la bobine magnétisante pour aller s'appliquer sur la paroi intérieure du côté opposé. Quand le courant magnétisant traverse la bobine, l'échantillon est appliqué plus ou moins fortement contre le bloc de fer, et l'on mesure, à l'aide d'un ressort taré, la force nécessaire pour produire l'arrachement. La graduation peut être faite directement en valeur de μ .

» Dans cet appareil, les joints sont forcément imparfaits; de plus, à cause de la loi du carré, les mesures sont très grossières dans le bas de la courbe; aussi, malgré sa simplicité d'emploi, cet appareil est plutôt un appareil de démonstration qu'un instrument de mesures.

» *Balance d'Ewing.* — La balance d'Ewing (1898) utilise aussi la force d'arrachement, mais, afin d'éviter le dressage des surfaces des joints, le contact se fait sur des surfaces cylindriques et par un point seulement. L'échantillon est une baguette cylindrique E, de 6^{mm},35 de diamètre et 101^{mm},5 de long (*fig. 13*). Cette baguette

Fig. 13.



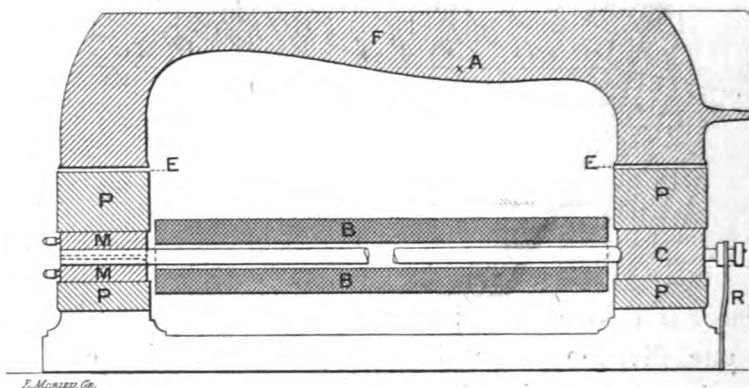
est placée à l'extrémité du fléau d'une balance, dont l'autre bras porte une division devant laquelle glisse un poids curseur. Un électro-aimant droit, dans lequel passe le courant magnétisant, est muni de deux joues en fer; l'une d'elles *b* est entaillée d'une encoche en V, dans laquelle le barreau d'essai repose constamment; c'est une sorte d'articulation magnétique sur laquelle le fléau oscille. L'autre joue *a* a sa surface supérieure légèrement cylindrique, de sorte que l'échantillon ne peut avoir de contact avec elle qu'en un seul point *a*, toujours identique à lui-même.

» Le courant magnétisant est toujours le même, il correspond à un champ magnétisant de 20 gauss sur le barreau étudié. Le courant est réglé, sans ampèremètre, à l'aide d'un barreau étalon, pour lequel on connaît la force d'arrachement. La mesure se fait en cherchant la position du curseur pour laquelle l'attraction magnétique est insuffisante à maintenir le contact. L'échelle est graduée de 12 à 16000 gauss. Cet instrument ne donne qu'un seul point de la courbe correspondant aux valeurs élevées de $\mathfrak{B}$; il se prête seulement à l'essai des fers pleins.

» *Balance magnétique de Du Bois.* — Dans la balance de Du Bois (1890), ce n'est plus la force portante qui est utilisée, mais les attractions à distance. La bobine magnétisante B est placée horizontalement et terminée par deux blocs d'acier P formant pièces polaires (*fig. 14 et 15*). Le fer à essayer est une baguette, cylin-

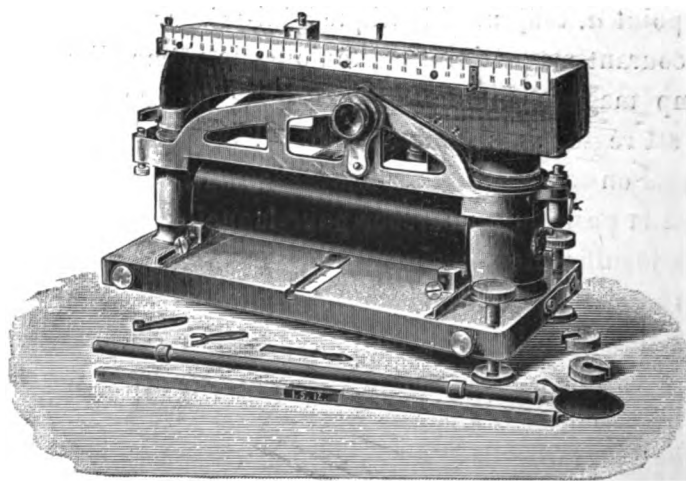
drique ou carrée, de $0^{\text{cm}},5$ de section, qui traverse la bobine magnétisante et vient s'engager dans les contacts des pièces polaires. Au-dessus de celles-ci se trouve un fléau F, formé par une masse d'acier fondu, de grande section, qui est munie, à sa partie

Fig. 14.



inférieure, de deux projections cylindriques très courtes, lesquelles se placent en regard des faces supérieures des pièces polaires. Le fléau et les pièces polaires ne viennent jamais au contact, il y a

Fig. 15.



toujours un entrefer d'environ 1^{mm} . Le fléau est porté en A par un couteau et des contrepoids règlent l'équilibre. Quand la bobine magnétisante est excitée, les attractions, égales de chaque côté,

puisque les surfaces en regard sont égales et traversées par le même flux, déterminent des moments inégaux, et le fléau s'incline du côté du plus grand bras de levier. On rétablit l'équilibre au moyen de curseurs glissants sur des règles graduées, et la valeur de $\mathfrak{A}$ est proportionnelle à la racine carrée du déplacement des curseurs.

» Le contact entre l'échantillon et les pièces polaires est latéral ou en bout. Dans le premier cas, deux mâchoires M embrassent les extrémités du barreau et viennent se serrer dans l'ouverture cylindrique des pièces polaires; le barreau a alors une longueur totale de 33^{cm} . Le contact en bout, recommandé pour les mesures précises, est obtenu en donnant aux extrémités du barreau une forme sphérique, de façon que la surface de contact soit à peu près une équipotentielle. Le rayon de courbure de cette surface est de $0^{\text{cm}},5$. Les pièces cylindriques C, qui entrent dans les pièces polaires, sont percées de cavités sphériques semblables et elles sont serrées sur l'échantillon par la pression d'un ressort R, destiné à assurer un bon contact, même quand l'attraction électromagnétique est insuffisante. Dans ce système, la longueur de la partie cylindrique de l'échantillon est de 25^{cm} ; en tenant compte de l'épanouissement des lignes de force, la longueur effective de l'échantillon est de $25^{\text{cm}},2$, c'est-à-dire 8π centimètres.

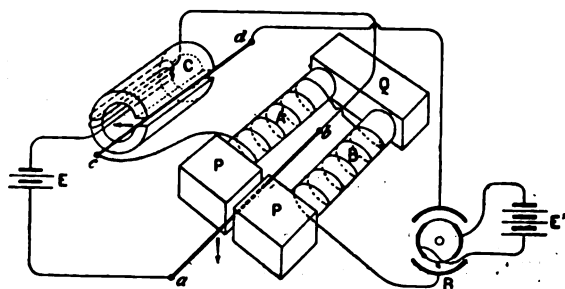
» Cet appareil n'exige comme accessoires que la source du courant (10 volts pour $\mathcal{H} = 150$ gauss), l'ampèremètre et le rhéostat pour la mesure et le réglage du courant magnétisant.

» *Traceur de courbes magnétiques.* — Cet instrument est intéressant à rappeler bien qu'il ne soit pas, à proprement parler, un appareil industriel. Le fer à essayer forme les deux branches d'un électro dont les pièces polaires et la culasse sont des blocs de fer fixes; deux bobines A et B (*fig. 16*), aimantent cet électro. Dans l'intervalle des pièces polaires est tendu un fil ab , parcouru par un courant constant fourni par une pile E. Sous l'influence du courant et du champ, le fil est soumis à une force dirigée suivant la flèche, force qui est proportionnelle à l'induction $\mathfrak{A}$ que l'on veut mesurer. Un second électro C, construit une fois pour toutes, est parcouru par le courant constant de la pile E et, dans son entrefer, est tendu un second fil cd , qui est traversé par le courant magnétisant de A, B;

les déplacements de ce fil sont donc proportionnels au courant magnétisant, c'est-à-dire à $\mathcal{H}$.

» Comme les plans des directions des deux fils sont perpendi-

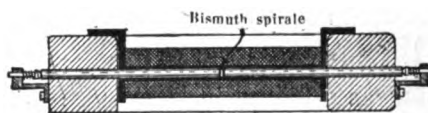
Fig. 16.



culaires entre eux, on peut, au moyen de liaisons convenables, faire agir ces fils sur un miroir mobile auquel ils impriment des déviations respectivement proportionnelles à $\mathcal{H}$ et $\mathcal{H}'$, de sorte que, si l'on fait varier graduellement le courant magnétisant, le spot lumineux trace sur un écran la courbe complète du cycle parcouru. Cet appareil a servi à des études sur l'influence de la fréquence sur l'hystérésis.

» *Perméamètre de Brüger* (1891). — La mesure de $\mathcal{H}$ se fait ici au moyen d'une spirale de bismuth logée dans une coupure du fer étudié. L'échantillon est un barreau cylindrique coupé en deux parties égales (fig. 17 et 18); ces deux moitiés sont introduites

Fig. 17.

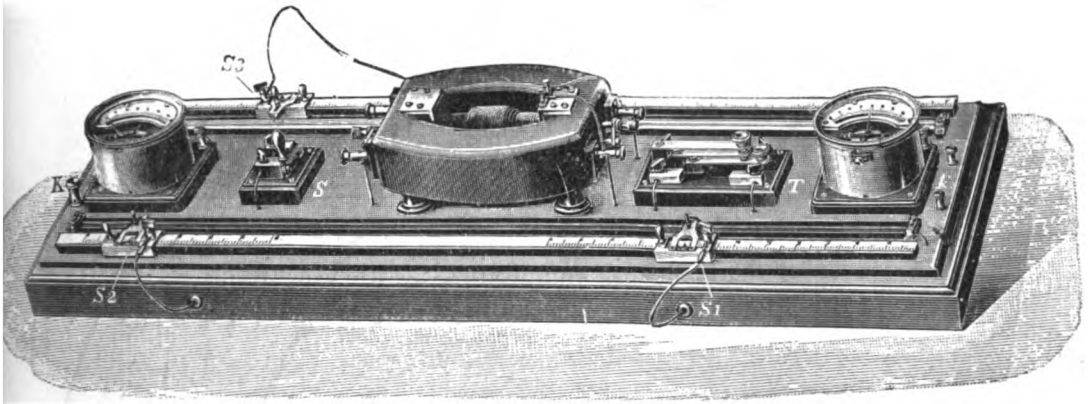


dans des trous, de même diamètre, ménagés dans les côtés opposés d'un gros cadre en fer, dans lequel est placée la bobine magnétisante. Des ressorts poussent les parties du barreau de façon à les appliquer, avec une pression constante, sur les deux faces d'une spirale de bismuth logée au centre de la bobine magnétisante. Le circuit magnétique est donc coupé par un entrefer, de section égale à celle de l'échantillon et d'une longueur voisine de 1 mm.

» On sait que la résistance d'une spirale de bismuth varie rapidement quand le champ magnétique dans lequel elle se trouve augmente; c'est en mesurant la variation *relative* de cette résistance que l'on détermine μ ; une courbe d'étalonnage donne la relation entre ces deux quantités.

» Comme on le voit sur la figure 18, l'appareil se compose, en

Fig. 18.

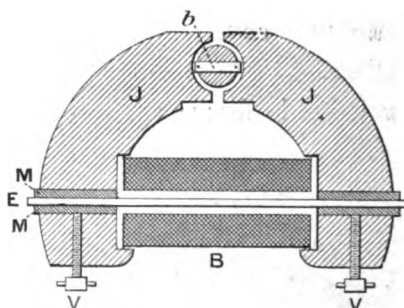


outre du bloc de fer et de ce qu'il renferme, de deux ponts à fil destinés, l'un à la correction de température, l'autre à la mesure de la résistance proprement dite; un galvanomètre sensible et une clef à deux contacts successifs servent à la mesure de la résistance; un ampèremètre et un commutateur servent au courant magnétisant. Le point délicat de cet appareil, c'est l'entrefer qui coupe le barreau; l'élasticité de la spirale de bismuth rend indispensable l'usage des ressorts destinés à régler la pression.

» *Perméamètre de Kœpsel* (1894). — Cet appareil constitue une sorte de galvanomètre Deprez-d'Arsonval dans lequel le champ magnétique est produit par le flux de force développé dans le fer étudié. L'échantillon E est une barre, cylindrique ou carrée, qui est serrée, par des mâchoires M et des vis V, dans des trous pratiqués aux deux bouts d'une pièce de fer en forme de C (*fig. 19*). Le milieu de ce bloc est coupé par un entrefer dans lequel se meut un cadre mobile *b*; quand un courant constant traverse ce cadre, il le fait dévier proportionnellement à l'induction μ dans le barreau E. La graduation est faite directement en gauss, pour μ compris entre

+ et — 20000. La bobine magnétisante B a un enroulement tel

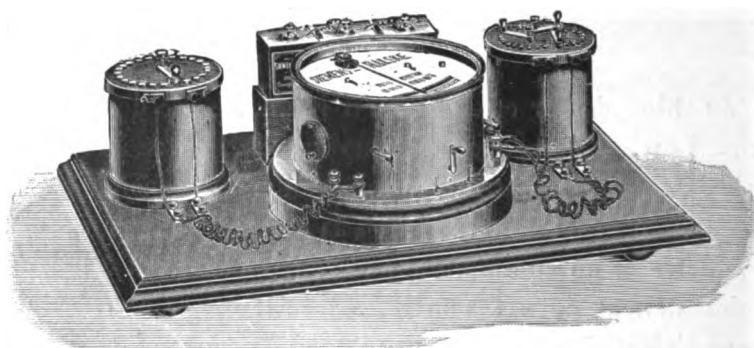
Fig. 19.



que $\mathcal{H}$ atteint 100 gauss par ampère; on peut obtenir 300 gauss avec 8 volts aux bornes.

» Une planchette réunit l'appareil et les accessoires (*fig. 20*).

Fig. 20.

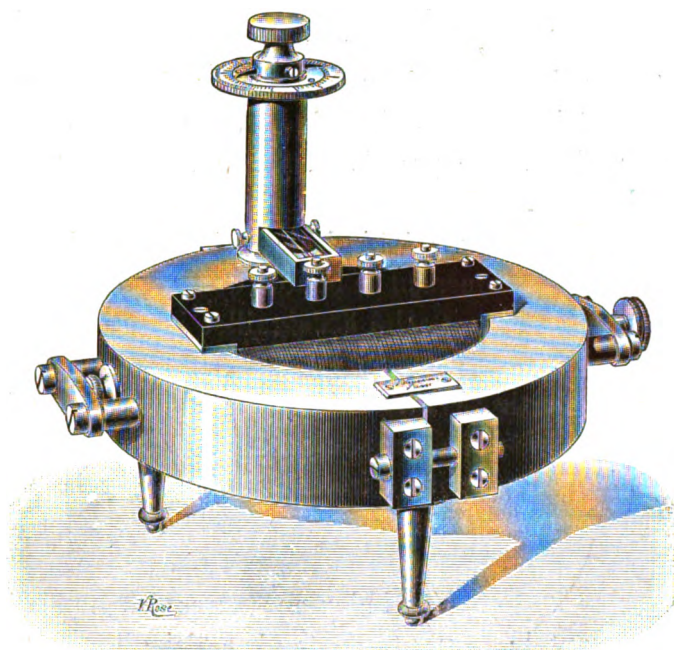


Ceux-ci comprennent : une batterie de trois piles sèches et un rhéostat à trois manettes, pour fournir et régler le courant du cadre mobile, et enfin un second rhéostat pour le courant magnétisant. Il faut ajouter, extérieurement, une batterie de 4 à 8 volts et un milliampèremètre muni de shunts et de résistances de compensation, pour régler le courant auxiliaire et mesurer le courant magnétisant.

» *Perméamètre de Carpentier* (1900). — Dans ce perméamètre, le cadre mobile est remplacé par une petite aiguille aimantée, suspendue par un fil de torsion, de sorte que le courant auxiliaire est

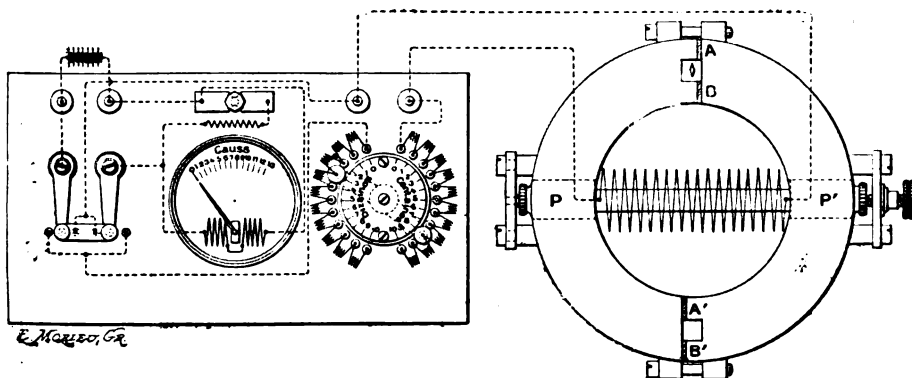
supprimé. Le bloc de fer est un tore à section rectangulaire (*fig. 21*

Fig. 21.



et 22), coupé par deux entrefers égaux, AB et A'B'. Dans l'un de ces entrefers est logée une petite aiguille aimantée attachée au

Fig. 22.



milieu d'un fil métallique, fixé lui-même à un bouton moleté servant de tête de torsion. La position normale de l'aiguille est perpendiculaire aux lignes de force du flux mesuré. La barre essayée

est placée perpendiculairement au diamètre qui joint les entrefers, elle est entourée par la bobine magnétisante; sa longueur est de 15^{cm} et sa section de 1^{cm}². Les contacts se font en bout; les deux extrémités de la barre, soigneusement dressées, s'appliquent sur les faces internes des deux pistons PP'; ceux-ci sont d'un diamètre beaucoup supérieur et très bien ajustés, par construction, dans le bloc de fer. Une vis de pression assure un bon contact entre les pistons et la barre.

» Le flux de force mesuré fait dévier l'aiguille, on la ramène à sa position normale en tournant le bouton de torsion. Pour faciliter la manœuvre, un index, attaché à l'aiguille, indique la position de celle-ci et l'aiguille elle-même est plongée dans un tube rempli d'huile pour amortir ses oscillations. Le bouton de torsion porte deux index, ceux-ci se déplacent devant deux graduations tracées sur un cadran circulaire monté, à frottement doux, sur la partie supérieure de la colonne. L'aiguille, déviée par le flux, étant ramenée à sa position normale par la torsion, on fait tourner le cadran supérieur de façon à placer les index aux zéros des graduations. Ensuite, renversant le courant, on ramène l'aiguille à sa position normale; à ce moment, les deux index indiquent l'un l'induction $\mathfrak{B}$, l'autre la correction C.

» Grâce à la forme du bloc de fer, la correction C est déterminée, expérimentalement, en enroulant sur le tore quelques tours de fil et en mesurant la force magnétomotrice correspondant à chaque induction; dans ce cas la réluctance du bloc et des entrefers est quatre fois celle qui intervient dans l'emploi régulier de l'appareil. Cette méthode ne tient pas compte de la réluctance des contacts, mais, comme celle-ci peut être presque annulée par les soins pris dans la préparation de l'échantillon, l'erreur commise est la même qu'avec les autres appareils.

» *Perméamètre de Baily*. — L'appareil du professeur G. Baily (1901) mesure directement la perméabilité. Deux bobines magnétisantes A et B (*fig. 23*), reçoivent deux échantillons du fer étudié, mis sous forme de barreaux plats et longs. Les extrémités de ces barreaux s'engagent, par un bout, dans une culasse commune et, par l'autre bout, dans deux pièces polaires séparées par un étroit

entrefer. Des boutons de serrage assurent le contact entre les barreaux, les pièces polaires et la culasse.

» Au-dessus des pièces polaires se trouve placé un équipage astatique, formé de deux barreaux aimantés, susceptible de tourner autour d'un axe parallèle à la ligne NS des aimants. Les pôles N et S inférieurs de cet équipage sont soumis à l'action des pièces polaires qui les attirent. Les pôles supérieurs sont placés au centre d'une bobine parcourue par le courant magnétisant; cette bobine peut tourner sur un axe parallèle à l'axe de rotation de l'équipage, de sorte que l'on peut, comme dans une boussole des sinus, exercer un couple variable sur l'équipage, avec un courant constant.

» Les choses étant ainsi, on fait tourner la bobine mobile jusqu'à ce que son action sur les pôles supérieurs de l'équipage fasse équilibre à l'action des pièces polaires sur les pôles inférieurs. A ce moment, l'équipage astatique se trouve ramené dans une position parallèle à l'entrefer des pièces polaires et la position de la bobine est fonction de la perméabilité ⁽¹⁾. La bobine porte un index qui se déplace sur un cadran gradué sur lequel on lit μ .

(1) Les pôles inférieurs de l'aimant sont soumis à une force proportionnelle au flux $\mathfrak{W}$ S qui traverse le circuit magnétique; cette force étant toujours perpendiculaire au plan des aimants, quand l'équipage est à sa position d'équilibre on peut écrire :

$$F = A \mathfrak{W},$$

A étant une constante.

La bobine mobile exerce sur les pôles supérieurs une action proportionnelle au courant magnétisant I, c'est-à-dire, comme première approximation, au champ $\mathcal{H}$:

$$\mathcal{H} = \frac{4\pi NI}{L} = KI.$$

Le couple exercé par la bobine mobile sur l'aimant a pour valeur :

$$F' = MI f(\alpha) = \frac{M\mathcal{H}}{K} f(\alpha),$$

en appelant α l'angle que fait l'axe de la bobine avec la ligne NS de l'équipage et M une constante.

Comme l'équilibre est obtenu quand l'équipage est perpendiculaire à la direction du flux, F et F' sont égaux et opposés :

$$\frac{M\mathcal{H}}{K} f(\alpha) = A \mathfrak{W};$$

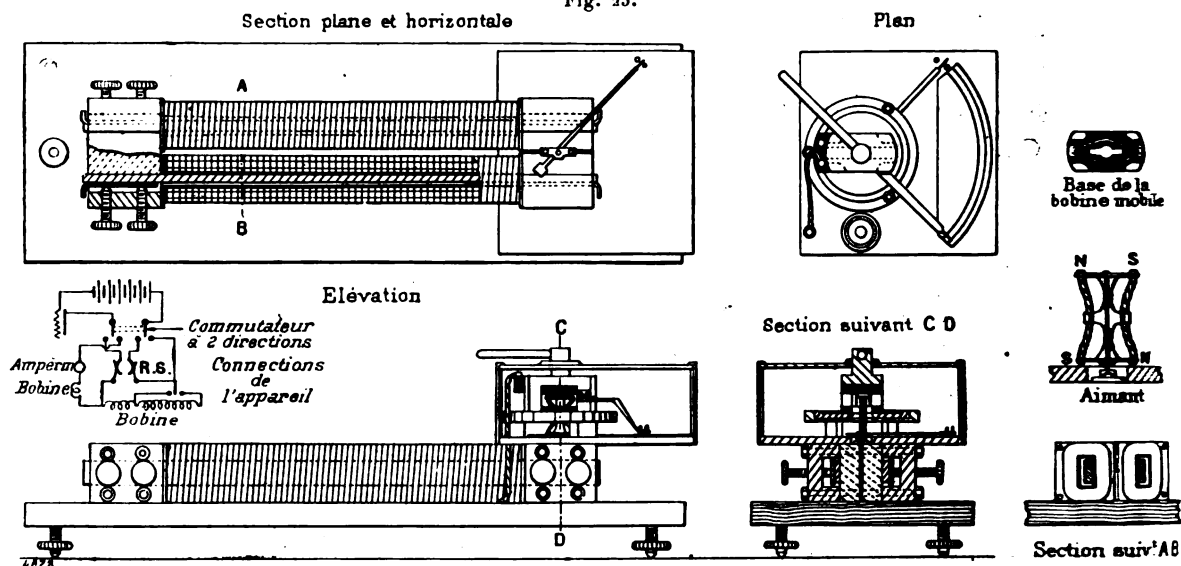
d'où :

$$\mu = \frac{\mathfrak{W}}{\mathcal{H}} = \frac{M}{KA} f(\alpha).$$

La perméabilité ainsi mesurée est trop faible à cause des réluctances de la culasse,

» Dans cet appareil les enroulements sont tels que 1 ampère donne un champ de 100 gauss. Les échantillons ont environ 40^{cm} de

Fig. 23.



long, 2^{cm} de large et 0^{cm},5 d'épaisseur; il en résulte que, dans l'essai des tôles, le contact s'effectue par les surfaces des tôles et que le flux est obligé de traverser toutes ces surfaces pour atteindre les lames intérieures; ce point est évidemment défectueux.

des pièces polaires et de l'entrefer. Appelons L , S et μ_0 , la longueur, la section et la perméabilité réelle de l'échantillon étudié; λ , σ et μ' les mêmes quantités pour les pièces polaires et la culasse; l et s , la longueur et la section de l'entrefer; nous devons avoir :

$$4\pi NI = \mathcal{W}S \left(\frac{L}{S\mu_0} + \frac{\lambda}{\sigma\mu'} + \frac{l}{s} \right).$$

Nous avons écrit, comme approximation,

$$4\pi NI = \mathcal{K}L = \frac{\mathcal{W}S L}{\mu},$$

d'où :

$$\frac{L}{\mu} = \frac{L}{\mu_0} + \frac{\lambda S}{\sigma\mu'} + \mu_0 \frac{lS'}{sL},$$

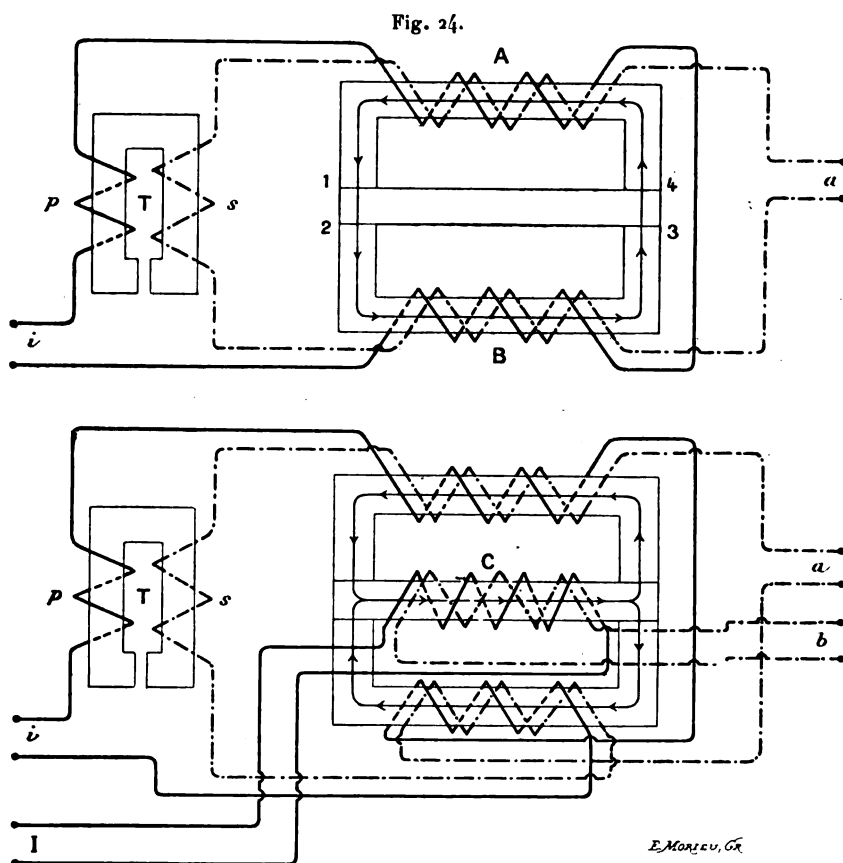
et :

$$\mu_0 = \mu \left(1 + \frac{\mu_0}{\mu} \frac{\lambda S}{\sigma L} + \mu_0 \frac{lS'}{Ls} \right).$$

Si la réluctance des pièces polaires et celle de l'entrefer sont petites devant celle de l'échantillon, on peut remplacer μ_0 par μ , dans le facteur entre crochets, et le terme de correction à ajouter à la perméabilité *apparente* μ , pour avoir la perméabilité *vraie* μ_0 , peut être déterminé une fois pour toutes.

» *Perméamètre Picou* (1902). — Dans tous les appareils que nous venons de voir, on *réduit* les erreurs dues aux joints en faisant ceux-ci aussi parfaits que possible. M. Picou a cherché une méthode capable d'*éliminer* l'effet des joints.

» Le barreau à essayer est placé entre deux blocs de fer égaux A et B (*fig. 24*). Des enroulements disposés sur ces blocs reçoivent le



courant; ils sont d'abord réunis de telle sorte que les blocs A et B soient, magnétiquement, en série. Le barreau d'essai n'est parcouru par aucun flux longitudinal. Le circuit magnétique comprend alors les blocs A et B, les joints 1, 2, 3, 4 et deux fois la largeur du barreau.

» Si, ensuite, nous renversons le sens du courant dans la bobine B et si nous envoyons un courant I, de sens convenable, dans la bobine C, qui entoure le barreau essayé, il est possible de régler le courant I de telle sorte que le flux, dans les blocs A et B, reprenne la

valeur qu'il avait dans le premier montage. Dans ces conditions, les enroulements A et B fournissent, comme précédemment, la force magnétomotrice nécessaire pour vaincre la réluctance des blocs et des joints correspondants; par suite, la force magnétomotrice, produite par la bobine C, correspond uniquement à la réluctance du barreau : le champ magnétisant a donc bien pour valeur :

$$\mathcal{H} = \frac{4\pi NI}{L},$$

N étant le nombre de tours de la bobine C et L la longueur *effective* du barreau.

» La mesure comprend une série d'opérations dont l'énoncé est plus long que la réalisation. Il faut : 1° envoyer le courant auxiliaire i dans les bobines A et B; 2° mesurer le flux Φ dans les blocs; 3° renverser le sens du courant en B et envoyer le courant I dans la bobine C; 4° régler le courant I jusqu'à ce que le flux Φ ait repris sa valeur initiale; 5° mesurer le flux $\mathfrak{W}S$ dans le barreau essayé, dont la section est S.

» La mesure de Φ en 2° et 4° se fait au galvanomètre, et, comme l'observation des elongations produites par le renversement du courant serait trop longue, on a employé une méthode de zéro : les deux blocs A et B portent chacun un enroulement induit, et les connexions sont toujours faites de façon que les quantités d'électricité induites s'ajoutent; mais un petit transformateur auxiliaire T reçoit aussi le courant i et son circuit secondaire s est en *opposition* avec les circuits induits de A et B, ce qui fait que, en réglant l'induction mutuelle de ce transformateur, on peut obtenir une quantité d'électricité induite égale et opposée à celle de A et B : le galvanomètre reste au zéro. Il suffit alors, dans l'opération 4°, de régler le courant I jusqu'à ce que le galvanomètre reste au zéro, quand on renverse en même temps le sens de i et I.

» Afin d'éviter l'indécision dans le réglage, les renversements de courant se font à l'aide d'un commutateur tournant, lequel renverse aussi les connexions des circuits induits avec le galvanomètre balistique; grâce à ce moyen, les elongations, qui se produisent avant le réglage parfait, ne changent de sens que quand le dérèglement change lui-même de sens.

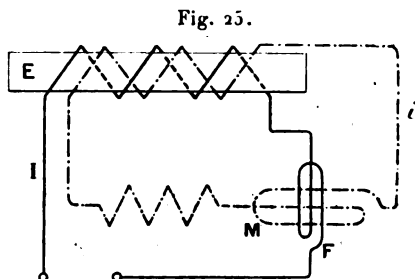
» Cet appareil, dont le schéma et la manœuvre paraissent très

compliqués, est cependant d'un emploi assez facile ; il a le mérite de se prêter indifféremment à l'essai des barreaux pleins et des faisceaux de tôles, pour lesquels il n'exige qu'un ajustage très grossier. M. Picou présentera cet appareil, plus en détail, prochainement.

» *Hystérésis*. — Il n'existe guère que deux appareils pratiques pour la mesure de l'hystérésis ; aussi a-t-on souvent recours à la méthode indirecte qui consiste à tracer le cycle complet, par la méthode balistique ou à l'aide de perméamètres, puis à mesurer la surface de ce cycle. Quelques perméamètres seulement sont disposés pour cette mesure : traceur de courbes d'Ewing, perméamètres à arrachement, balance de Du Bois, perméamètres de Brüger, de Kœpsel, de Drysdale. Avec tous ces appareils la correction est assez compliquée, et il est douteux qu'elle élimine bien l'hystérésis du bloc de fer ; en outre, la mesure est extrêmement longue et délicate, de sorte que cela ne constitue pas un perfectionnement de la méthode balistique.

» Une méthode permettant de mesurer l'hystérésis, pour un cycle donné, à l'aide d'une seule observation, a été indiquée par M. Searle (1895) et reprise récemment par le même et M. Bedford (1902). Dans cette méthode, on fait usage d'un électrodynamomètre à oscillations lentes, agissant comme balistique, en observant l'élongation produite par le renversement du courant.

» Le fer essayé est placé dans un solénoïde ou mis sous forme d'anneau. La bobine magnétisante est enroulée sur l'échantillon, et le courant qui la traverse passe dans la bobine fixe de l'électrodynamomètre (*fig. 25*). Une bobine induite est également enroulée sur



le fer et elle est reliée à la bobine mobile de l'électrodynamomètre. Quand on fait varier le courant magnétisant, une force électromotrice induite prend naissance dans le circuit secondaire et un

courant proportionnel à $\frac{dv_b}{dt}$ traverse la bobine mobile. Pendant le même temps, le courant I , proportionnel à $\mathcal{E}$, traverse la bobine fixe, de sorte que le couple exercé sur la bobine mobile est, à chaque instant, proportionnel à

$$\mathcal{E} \frac{dv_b}{dt} dt.$$

» Si le cycle complet est parcouru pendant un temps très petit par rapport à la durée d'oscillation de l'électrodynamomètre, le moment du couple déviant et, par suite, l'élongation, sont proportionnels à

$$\int \mathcal{E} dv_b,$$

c'est-à-dire à l'énergie totale dépensée par l'hystérésis pendant le cycle complet. Il faut, naturellement, que la self-induction de la bobine mobile ne retarde pas le courant induit. Cette méthode n'a encore été appliquée que par ses auteurs.

» Un procédé, d'apparence plus pratique, a été employé presque dès la découverte de l'hystérésis. Il consiste à placer le fer étudié dans un solénoïde parcouru par un courant alternatif et à mesurer, à l'aide d'un wattmètre, l'énergie dépensée dans le solénoïde, avec et sans le fer, en laissant l'intensité du courant constante. La différence des deux mesures correspond à la puissance dépensée par l'hystérésis.

» La puissance mesurée dépend de la fréquence du courant et, pour une intensité donnée, elle dépend aussi de la *forme* de ce courant, puisque le rapport entre l'intensité efficace et l'intensité maximum est fonction de cette *forme*. Il résulte de ceci que les essais, pour être concordants, doivent être faits avec des courants de même forme. La différence de fréquence peut facilement être corrigée par le calcul.

» La difficulté relative à la forme du courant n'a pas empêché la Société des Électriciens allemands de recommander l'essai des tôles par cette méthode, les mesures devant être faites avec un courant de 50 périodes par seconde, sous l'induction maximum de 10 000. Dans ces conditions, la puissance absorbée ne doit pas dépasser 4,4 watts par kilogramme de fer, ce qui correspond à $\eta = 0,00287$.

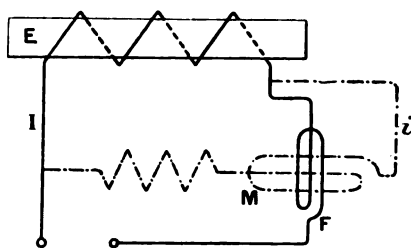
» Dans les usines Lahmeyer, où l'on essaye beaucoup de tôles, on procède de la façon suivante : les tôles, découpées en bandes de

$4^{\text{cm}} \times 50^{\text{cm}}$, sont empilées et réunies de façon à former un carré, les paquets étant séparés par du carton isolant de $0^{\text{mm}},15$ d'épaisseur. Le poids du fer dans chaque essai est d'environ 19^{kg} . Des bobines, ayant chacune 100 tours de fil, sont glissées sur chaque côté du carré et parcourues par le courant magnétisant. La mesure de la puissance absorbée se fait au wattmètre et celle de l'induction maximum en mesurant la différence de potentiel aux bornes et la *forme* du courant. Des essais faits, pour une induction constante, avec des fréquences différentes, permettent d'éliminer les courants de Foucault.

» Quand on passe de ces méthodes à l'emploi des hystérésimètres, la simplification est grande et il faut reconnaître que, même encore plus grossiers, ces appareils rendraient de réels services, le manque d'homogénéité des fers du commerce rendant illusoire les essais précis.

» Quand on soumet un échantillon de fer à une série de cycles magnétiques, produits en faisant tourner le champ magnétisant

Fig. 26.

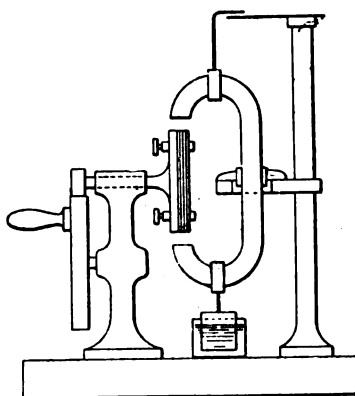


autour du fer à étudier, ou réciproquement, il faut exercer, sur l'arbre de la partie tournante, un couple constant, indépendant de la vitesse et proportionnel à la perte d'énergie par cycle dans le cas considéré. La mesure de ce couple donne la mesure de l'hystérésis.

» *Hystérésimètre d'Ewing* (1895). — Dans cet appareil (*fig. 27*) l'échantillon est un faisceau de rectangles de tôles, ayant $76^{\text{mm}},5$ de long sur $15^{\text{mm}},9$ de large. Ce faisceau est placé dans un support spécial qui peut tourner sur un axe perpendiculaire au plan des tôles. En tournant, il passe entre les branches d'un aimant permanent, en forme de C, lequel est porté par des couteaux, placés dans le prolongement de l'axe de rotation. Quand, à l'aide de la manivelle, on

fait tourner le faisceau, l'aimant est attiré, tantôt à droite, tantôt à gauche, mais, à cause de l'hystérésis, les attractions sont plus grandes dans le sens de la rotation. Un contrepoids retient l'aimant,

Fig. 27.



de sorte qu'il dévie seulement d'un angle proportionnel à l'hystérésis.

» *Hystérésimètre de Blondel* (1898). — L'échantillon est formé d'anneaux de tôles de 38^{mm} de diamètre intérieur et 55^{mm} extérieur, empilés de façon à former une épaisseur effective de 4^{mm} . Ces anneaux sont placés sur un support (*fig. 28*) qui se fixe sur un arbre vertical; un ressort en hélice détermine la direction de l'arbre. L'aimant qui fournit le flux est vertical; c'est lui qui tourne autour du fer essayé; le couple qu'il exerce sur le fer fait tourner celui-ci jusqu'à ce que le couple de torsion du ressort s'y oppose.

» *Comparaison des hystérésimètres*. — Ces deux appareils présentent entre eux des analogies et des dissemblances qu'il faut signaler pour expliquer les divergences des résultats obtenus et permettre de les éviter.

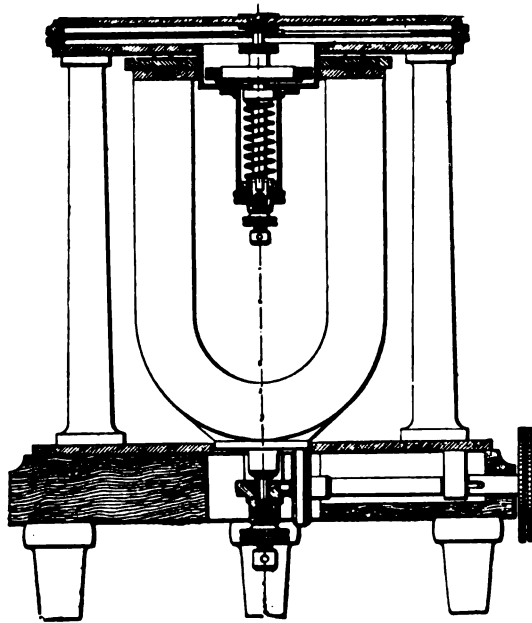
» Bien qu'il soit possible de déterminer l'hystérésis en partant seulement des constantes mécaniques et magnétiques des hystérésimètres, ce sont surtout des appareils de *comparaison*, dans lesquels on mesure le *rapport* de l'hystérésis cherchée à l'hystérésis d'un échantillon connu. Pour obtenir ce résultat il faut que l'induction $\mathfrak{A}$, à laquelle sont soumis les échantillons, soit la même pour tous; on

y arrive, pratiquement, en laissant entre le fer et l'aimant un entrefer assez long pour que sa réluctance soit très grande vis-à-vis de celle de l'échantillon.

» Dans l'hystérésimètre d'Ewing $\mu = 4000$, et, dans celui de Blondel, $\mu = 10000$ environ.

» Par suite de la forme rectangulaire des échantillons dans l'appareil d'Ewing, ceux-ci sont soumis à des variations alternatives

Fig. 28.

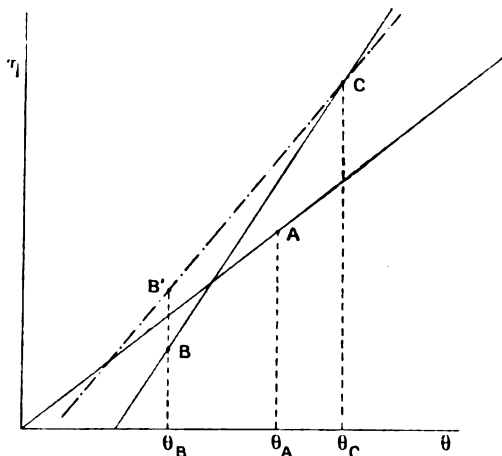


d'aimantation, à peu près comme le fer dans les transformateurs ; cet hystérésimètre mesure l'*hystérésis alternative*. Au contraire, dans l'appareil de Blondel, le flux total ne varie pas, mais la *direction* du flux change constamment ; cet appareil mesure l'*hystérésis tournante*, celle que l'on trouve dans les induits de dynamos. On sait que ces deux formes du même phénomène diffèrent comme grandeur ; il en résulte, entre les deux hystérésimètres, une *différence systématique*, à peu près constante, telle que l'appareil de Blondel donne, pour η , des valeurs supérieures, de 20 à 25 pour 100, à celles données par l'hystérésimètre d'Ewing. Tant que l'énergie dépensée dans ces appareils est uniquement absorbée par l'hystérésis, les indications sont indépendantes de la vitesse de rotation, mais, en général,

il faut tenir compte des courants de Foucault et des courants d'air. Les courants de Foucault sont d'autant plus importants que l'on essaye des tôles plus épaisses ; à ce point de vue les tôles au-dessous de $0^{\text{mm}},5$ d'épaisseur, employées couramment aujourd'hui, donnent des erreurs assez faibles ; mais ces courants se développent aussi dans la masse de l'aimant, quand le flux est variable, comme dans l'appareil d'Ewing. Dans ce dernier appareil les courants d'air ont une importance assez grande, et il est nécessaire de lui donner une vitesse aussi constante que possible et juste assez grande pour que les oscillations de l'aimant disparaissent.

» La graduation de l'hystérésimètre d'Ewing est faite en partant d'échantillons de tôle dont l'hystérésis a été déterminée par la méthode balistique ; ces échantillons sont ensuite coupés à la dimension voulue et recuits. Par suite, probablement, des courants d'air et des courants de Foucault, les déviations observées sur cet appareil ne sont pas proportionnelles à l'hystérésis du fer essayé. M. Ewing a vérifié que la loi de graduation peut être représentée par une droite ne passant pas par l'origine (*fig. 29*) ; pour déterminer cette

Fig. 29.



droite il faut avoir deux échantillons, l'un ayant un coefficient η voisin de $0,001$ et l'autre voisin de $0,004$. Actuellement, la plupart des fers ayant η voisin de $0,001$ sont instables, de sorte que les graduations faites avec cet échantillon sont fréquemment faussées par l'augmentation inconnue de η ; au lieu de tracer la courbe B'C

qui correspond à la valeur *actuelle* de l'échantillon, on trace BC qui correspond à sa valeur primitive.

» Dans l'hystérésimètre Blondel la proportionnalité entre les déviations et l'hystérésis est pratiquement exacte; il suffit donc d'un seul échantillon pour l'étalonnage, A (*fig. 29*), et l'on peut choisir un fer ayant η voisin de 0,002, valeur où il est facile de trouver de la constance. En fait, la plus grande partie des différences entre ces deux hystérésimètres, abstraction faite de la différence systématique, a pour cause l'erreur commise dans le tracé de la graduation. Cela est si vrai que les indications sont toujours concordantes quand on mesure des fers à hystérésis élevée, vers 0,004.

» La forme de l'échantillon, dans l'hystérésimètre Blondel, permet de faire l'essai sur des fers non laminés; en effet, M. Blondel a montré que le couple qui fait dévier l'échantillon est complètement indépendant de la vitesse et qu'il persiste même au repos. Dans ces conditions, les courants de Foucault n'existent plus et la division de l'échantillon n'est plus nécessaire. Cette méthode est peu pratique, car les défauts d'homogénéité du fer en rendent l'emploi trop long.

» Par cet exposé sommaire des principaux appareils de mesures magnétiques industrielles, on voit que, si ces mesures ne sont pas plus répandues, ce n'est pas faute de moyens. Seules, les mesures magnétiques *directes* sont capables d'amener des progrès dans la fabrication et l'emploi du fer, et plus elles se répandront, plus les appareils se perfectionneront.

M. le PRÉSIDENT remercie M. Armagnat.

**INFLUENCE DES RÉGULATEURS SUR LE FONCTIONNEMENT EN PARALLÈLE DES
ALTERNATEURS ET DESCRIPTION D'UN NOUVEAU SYSTÈME DE COMMANDE DE
CES RÉGULATEURS.**

M. DE MARCHENA. — « Messieurs, je vous prie de m'excuser de revenir sur une question qui a déjà fait, ici, l'objet de débats si complets de la part de plusieurs de nos collègues les plus autorisés. Au moment où ces débats avaient lieu, j'avais moi-même occasion de me préoccuper de cette question, pour résoudre certaines difficultés concernant une application particulière. J'ai été ainsi conduit à concevoir une solution que je crois susceptible de résoudre une partie des difficultés que présente le problème en général. Toutefois, mon étude n'était pas suffisamment avancée au moment où le débat s'est ouvert, et j'ai préféré en réserver la communication à une époque où je pourrais en même temps vous faire part des résultats obtenus.

» Au risque de redire ce qui vous a déjà été exposé, soit dans le travail spécial de votre Commission, soit dans les Notes si intéressantes qui l'ont suivi, j'ai cru bien faire en vous communiquant mon travail complet, en vous indiquant la suite des idées par lesquelles j'ai été conduit à la solution dont j'aurai finalement l'honneur de vous entretenir.

§ I.

» Dans le fonctionnement en parallèle des alternateurs, le régulateur joue certainement un rôle absolument prépondérant. Trop d'importance, à mon avis, a d'abord été attachée à la grandeur de l'irrégularité dans un tour et à la valeur de l'angle d'écart maximum.

» Avec les volants qu'il est d'usage d'adopter, cette irrégularité et cet angle d'écart sont toujours très faibles et ils ne pourraient donner lieu qu'à des courants de circulation insignifiants.

» Ainsi que nous l'a si magistralement montré M. Boucherot, l'angle d'écart théorique est bien augmenté par les actions synchronisantes, quand l'alternateur est couplé; mais cette augmentation

n'est dangereuse qu'au voisinage immédiat de la résonance, c'est-à-dire quand la fréquence des impulsions qui donnent naissance à l'irrégularité est voisine de la fréquence des oscillations propres de l'alternateur.

» Or, avec les alternateurs à réaction d'induit notable qui sont d'emploi le plus commun et avec les volants normaux, la fréquence de ces dernières est rarement supérieure à 60 par minute pour les alternateurs à 50 cycles, tandis que la fréquence des impulsions est de 150 à 200 par minute pour des machines monocylindriques tournant aux vitesses usuelles de 75 à 100 tours.

» J'ajouterai qu'au point de vue de la bonne marche en parallèle il n'y a pas avantage à réduire l'angle d'écart maximum par un accroissement exagéré du poids du volant. Passé une certaine limite, l'augmentation devient plutôt un désavantage, en dehors de l'augmentation de prix et de la diminution du rendement qui en résulte. En particulier, avec un volant infini, la marche en parallèle deviendrait impossible.

» De même, je ne pense pas que l'emploi d'amortisseurs constitue une bien grande ressource pour le fonctionnement en parallèle, ces amortisseurs ne jouant un rôle utile que quand les mouvements pendulaires ont pris une telle importance que le fonctionnement cesse d'être satisfaisant.

» Le vrai remède est à chercher du côté du régulateur. C'est lui qui, par une instabilité intempestive ou un manque de proportions entre les divers organes qui le constituent, donne lieu aux impulsions de la force motrice véritablement dangereuses par leur basse fréquence pour la bonne marche en parallèle, et cela quel que soit le type de machines et l'importance du volant.

» Souvent, les défauts du régulateur sont dus à une insuffisance du volant, mais alors celle-ci n'intervient qu'indirectement et en raison du type de régulateur employé.

Angle d'écart produit par une impulsion de la force motrice.

» Considérons un alternateur tournant à une vitesse uniforme Ω , couplé à un réseau supposé de puissance infinie et soumis à une charge définie par l'angle de calage θ de l'alternateur.

» Celui-ci pourra être considéré comme en équilibre sous l'action

de son couple moteur C et du couple antagoniste des réactions électrodynamiques dont l'expression est

$$K \sin \theta.$$

» Supposons que cet alternateur reçoive une impulsion par suite d'un accroissement ΔC , momentané et de courte durée, de son couple moteur.

» Sa vitesse va s'accroître et son angle de calage par rapport au réseau va augmenter et devenir $(\theta + \alpha)$.

» Nous aurons à chaque instant la relation

$$\frac{J}{p} \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + K \sin(\theta + \alpha) - K \sin \theta = 0,$$

$2p$ étant le nombre de pôles.

» Pour les petites valeurs de α , cette équation pourra s'écrire

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} = -\alpha p \frac{K \cos \theta}{J},$$

dont l'intégrale est

$$\alpha = \alpha_0 \sin t \sqrt{\frac{p K \cos \theta}{J}},$$

α_0 étant l'amplitude maxima de l'oscillation qui va prendre naissance.

» La période de cette oscillation est donnée par l'expression

$$T = \pi \sqrt{\frac{J}{p K \cos \theta}}.$$

» L'amplitude α_0 se détermine en exprimant que le travail de l'impulsion a une valeur déterminée.

» Ce travail sera donné par l'égalité

$$\mathcal{E} = \int_0^{\alpha_0} K \alpha \Omega dt.$$

» Or

$$\alpha = \alpha_0 \sin t \sqrt{\frac{p K \cos \theta}{J}},$$

d'où

$$\mathcal{E} = K \Omega \alpha_0 \int_0^{\frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{J}{p K \cos \theta}}} \sin t \sqrt{\frac{p K \cos \theta}{J}} dt$$

et, en intégrant,

$$\tau = \Omega \alpha_0 \sqrt{\frac{KJ \cos \theta}{p}},$$

d'où l'on déduit

$$\alpha_0 = \frac{\tau}{\Omega} \sqrt{\frac{p}{JK \cos \theta}}.$$

» Supposons, en particulier, que le travail de l'impulsion soit proportionnel à la durée d'une oscillation, c'est-à-dire qu'il soit produit par un couple ΔC appliqué durant une fraction λ de cette période d'oscillation.

» Nous aurons

$$\frac{\tau}{\Omega} = \lambda \Delta C \pi \sqrt{\frac{J}{p K \cos \theta}}$$

et, en portant dans l'expression α_0 , il viendra

$$\alpha_0 = \pi \lambda \frac{\Delta C}{K \cos \theta},$$

expression indépendante de l'inertie du volant.

» Supposons, par exemple,

$$\frac{\lambda \Delta C}{K} = 0,05, \quad \cos \theta = 0,86.$$

» Nous aurons

$$\alpha_0 \text{ (en radians)} = 0,19,$$

soit, en degrés,

$$\alpha_0 = 11^\circ.$$

» Si, après la première impulsion, une seconde lui succède à un intervalle de temps égal à une oscillation complète de l'alternateur, tout se passera comme si le travail de la première impulsion était deux fois plus grand, c'est-à-dire que l'angle α_0 sera sensiblement doublé, et ainsi de suite.

» Ainsi, quelques impulsions faibles par elles-mêmes, mais convenablement rythmées, peuvent donner lieu à des oscillations de très grande amplitude et même finir par amener le décrochage de l'alternateur.

» On voit donc toute l'importance qu'il y a à ce que la puissance motrice soit régulière pour chaque régime de charge.

» Il faut pour cela que l'appareil qui la contrôle (et, dans l'espèce, c'est le régulateur) soit stable dans tous les régimes de charge, et,

en cas de variation dans le régime, agisse avec rapidité, précision, et passe d'une position d'équilibre à l'autre sans oscillation ou avec le minimum d'oscillations.

» Nous allons examiner, dans ce qui va suivre, les lois générales qui régissent le fonctionnement des systèmes de régulateurs en usage, puis nous étudierons les conditions à remplir pour que le fonctionnement de ces appareils soit soustrait à tous phénomènes oscillatoires en distinguant parmi ceux-ci :

- » *a.* Les oscillations propres du régulateur considéré isolément;
- » *b.* Les oscillations du système constitué par le régulateur, le moteur et son volant;
- » *c.* Les oscillations du système constitué par le moteur et ses accessoires et par l'alternateur couplé à un réseau.

§ II. — ÉTUDE DES LOIS RÉGISSANT LE FONCTIONNEMENT DES RÉGULATEURS DE VITESSE.

» Les régulateurs de vitesse sont basés, comme on sait, sur l'action de la force centrifuge; ils se composent essentiellement d'un certain nombre de masses tournant autour de l'axe de l'appareil avec une vitesse proportionnelle à celle de la machine; la force centrifuge développée par ces masses agit par un système de bielles ou de leviers, variables avec le type de régulateur, sur un manchon mobile le long de l'axe et commandant directement ou indirectement la distribution de la force motrice. Ce manchon est soumis, d'autre part, à des efforts statiques provenant de poids ou de ressorts et équilibrant la force centrifuge; enfin, ses déplacements sont amortis par un frein, généralement un frein à huile.

» Il n'est qu'un seul déplacement compatible avec les liaisons du système, de telle sorte qu'à chaque vitesse correspond une position du manchon et, par suite, une valeur de la puissance motrice.

» Désignons par :

- p le poids de chacune des masses tournantes ;
- ω leur vitesse de rotation ;
- x leur distance à l'axe de rotation ;

dx la variation de cette distance correspondant à un déplacement dy du manchon ;

F l'effort statique, antagoniste de la force centrifuge, correspondant à la position x .

» Nous aurons, pour définir l'équilibre du système, la relation générale

$$\omega^2 \sum \frac{P}{g} x dx + F dy = 0.$$

» Si la valeur de x est la même pour toutes les masses tournantes, cette équation peut s'écrire :

$$\omega^2 x \sum \frac{P}{g} + F \frac{dy}{dx} = 0.$$

» Nous avons, d'autre part, entre les déplacements x et y , une relation

$$\varphi(xy) = 0.$$

» Enfin, la valeur de F est une fonction de y définie par une troisième relation

$$F = f(y).$$

» Ces trois équations permettent de déterminer la position du manchon correspondant à chaque valeur de ω .

» Les dispositions de détail des régulateurs varient à l'infini ; on peut cependant les classer en deux catégories principales :

» 1° Ceux pour lesquels l'effort statique F est produit par des poids, et alors sa valeur est sensiblement indépendante de la position du manchon ;

» 2° Ceux pour lesquels l'effort statique F est produit, partie par des poids, partie par des ressorts, et alors sa valeur est sensiblement une fonction linéaire de y .

» Nous avons étudié en détail un régulateur de chacune de ces catégories en choisissant les types les plus usités, et nous sommes arrivés pour eux à des conclusions à peu près identiques ayant un caractère général s'appliquant à tous les régulateurs en usage.

Régulateurs à poids.

» Nous avons pris comme type le régulateur bien connu de Porter.

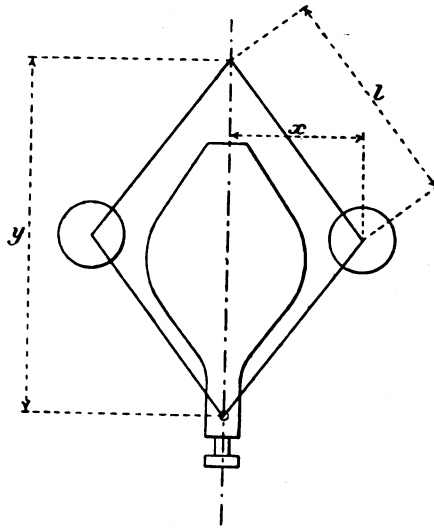
» Pour ce régulateur, nous avons les relations

$$(1) \quad 4x^2 + y^2 = 4P,$$

$$(2) \quad F = P + p,$$

$$(3) \quad \omega^2 x \times \frac{2p}{g} + F \frac{dy}{dx} = 0.$$

Fig. 1.



» De l'équation (1) nous déduisons :

$$\frac{1}{x} \frac{dy}{dx} = -\frac{4}{y}.$$

» En portant dans (3), il viendra :

$$(4) \quad \omega^2 y = 2g \frac{P+p}{p}.$$

» Soient :

Ω la vitesse de régime à pleine charge;

y_0 la valeur de y correspondante;

$\Omega(1 + E)$ la vitesse de régime à charge nulle;

c la course du manchon.

» Nous aurons les relations

$$(5) \quad \Omega^2 y_0 = 2g \frac{P+p}{p},$$

$$(5') \quad \Omega^2 (1 + E)^2 (y_0 - c) = 2g \frac{P+p}{p}.$$

D'où l'on tire

$$y_0 = c \times \frac{1 + 1,5 E}{2 E} \quad \text{et} \quad \Omega^2 c \frac{1 + 1,5 E}{2 E} = 2 g \frac{P + p}{p}.$$

» Posons

$$y = y_0 - z \quad \text{et} \quad \omega = \Omega(1 + \varepsilon),$$

z étant la distance du manchon à la position correspondant à la pleine charge.

» L'équation (4) deviendra

$$\Omega^2 (1 + \varepsilon)^2 (y_0 - z) = 2 g \frac{P + p}{p}$$

et, par suite,

$$(1 + \varepsilon)^2 (y_0 - z) = y_0,$$

d'où l'on tire

$$z = y_0 \times \frac{2 \varepsilon}{1 + 1,5 \varepsilon}$$

et, en remplaçant y_0 par sa valeur,

$$\frac{z}{c} = \frac{\varepsilon}{E} \times \frac{1 + 1,5 E}{1 + 1,5 \varepsilon}.$$

» En négligeant ε et E devant l'unité, on aura approximativement

$$\frac{z}{c} = \frac{\varepsilon}{E}.$$

» Les déplacements du manchon sont donc, à très peu près, proportionnels aux variations de la vitesse.

» Si, d'autre part, les choses sont disposées de telle façon que les variations de la puissance motrice soient proportionnelles aux déplacements du manchon, on aura finalement

$$\frac{\varepsilon}{E} = \frac{W_m - W}{W_m},$$

W_m étant la puissance maxima,

W , la puissance correspondant à la vitesse $\Omega(1 + \varepsilon)$;

c'est-à-dire que les variations de la puissance seront proportionnelles aux variations de la vitesse de régime.

» Il est facile de se rendre compte que les mêmes résultats s'obtiendraient avec tous les types de régulateurs à poids : Porter, Watt, Farcot, etc., ou dérivés de ces types.

*Perturbation produite dans la vitesse de régime par l'addition,
sur le manchon, d'un effort supplémentaire ΔF .*

» Nous avons la relation (4) :

$$\omega^2 y = \frac{2g}{\rho} (P + p),$$

qui peut se mettre sous la forme

$$F = \frac{p\Omega^2}{2g} (1 + \varepsilon)^2 (y_0 - z).$$

» Si nous faisons varier F d'une quantité ΔF , il en résultera pour ε une variation $\Delta \varepsilon$ donnée avec une approximation très suffisante par la relation

$$\Delta F = \frac{p}{g} \Omega^2 (y_0 - z) \Delta \varepsilon,$$

qui peut s'écrire

$$(6) \quad \Delta \varepsilon = \frac{\Delta F}{2F}$$

ou bien

$$(6') \quad \Delta F = 2F \Delta \varepsilon.$$

*Effort à produire sur le manchon pour le tenir écarté de sa position
d'équilibre d'une quantité Δz .*

» Nous avons, d'après la relation (4),

$$F = \frac{p}{2g} \Omega^2 (1 + \varepsilon)^2 (y_0 - z),$$

d'où nous tirons

$$\Delta F = \frac{p}{2g} \Omega^2 (1 + \varepsilon)^2 \Delta z,$$

qui peut s'écrire

$$\Delta F = \frac{F \Delta z}{y_0 - z},$$

ou bien, avec une approximation suffisante,

$$(7) \quad \Delta F = \frac{\Delta z}{C} 2EF.$$

On aurait de même

$$(7') \quad \frac{\Delta z}{c} = \frac{\Delta F}{2EF}.$$

Régulateurs à ressorts.

» Nous avons pris comme type le régulateur représenté par le

Fig. 2.

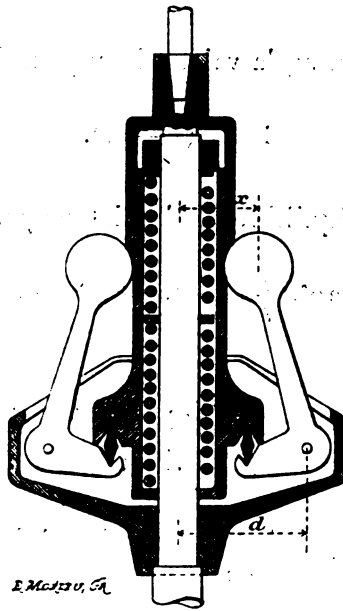


schéma ci-joint, et qui est très employé pour le réglage des turbines hydrauliques.

» Pour ce régulateur nous avons les relations

$$dx = -a dy,$$

$$F = P + R + 2p a(d - x),$$

où

a est le rapport des bras de leviers ;

P le poids appliqué sur le manchon ;

p le poids de chaque masse tournante ;

R l'effort produit par le ressort.

» L'effort R variant proportionnellement à la compression du

ressort, c'est-à-dire étant une fonction linéaire de x , nous pourrons écrire

$$F = P + R_0 + 2p ad + \frac{x}{a}(c - 2pa^2).$$

» Soient

$$k = c - 2pa^2,$$

$$F_0 = P + R_0 + 2pad;$$

nous aurons finalement

$$F = F_0 + \frac{k}{a}x,$$

ou bien, désignant par x_0 la valeur de x pour laquelle F s'annule,

$$F = \frac{k}{a}(x - x_0).$$

» L'équation de l'équilibre du régulateur pourra donc s'écrire

$$(8) \quad 2\omega^2 x \frac{p}{g} - \frac{k}{a^2}(x - x_0) = 0.$$

» Soient :

Ω et x_1 les valeurs correspondant à la pleine charge;

$\Omega(1 + E)$, la vitesse de régime à vide;

c , la course du manchon;

z , la distance d'une position du manchon à la position correspondant à la pleine charge et à la vitesse Ω ;

$\Omega(1 + \varepsilon)$, la vitesse de rotation correspondante;

nous aurons les relations

$$(9) \quad 2\Omega^2 \frac{p}{g}(1 + \varepsilon)^2(x_1 + az) - \frac{k}{a^2}(x_1 - x_0 + az) = 0,$$

$$(9') \quad 2\Omega^2 \frac{p}{g}x_1 - \frac{k}{a^2}(x_1 - x_0) = 0,$$

$$(9'') \quad 2\Omega^2 \frac{p}{g}(1 + E)^2(x_1 + ac) - \frac{k}{a^2}(x_1 - x_0 + ac) = 0.$$

» Des équations (9') et (9'') on peut déduire la valeur à donner à x_0 pour réaliser avec une course c l'écart de vitesse E .

$$(10) \quad x_0 = 2Ex_1 \frac{ac + x_1}{ac + 2E(x_1 + ac)}.$$

» Des équations (9) et (9)', on tire :

$$(11) \quad (1 + \varepsilon)^2 = \frac{x_1 (x_1 - x_0 + az)}{(x_1 - x_0) (x_1 + az)};$$

et en y remplaçant x_0 par sa valeur, on a

$$(12) \quad \frac{\varepsilon}{E} = \frac{z}{c} \frac{x_1 + ac}{x_1 + az};$$

ac et az étant généralement assez faibles par rapport à x_1 , on a très approximativement

$$(12') \quad \frac{\varepsilon}{E} = \frac{z}{c},$$

comme dans le cas des régulateurs à poids.

Perturbation produite dans la vitesse de régime par l'addition, sur le manchon, d'un effort supplémentaire ΔF .

» Nous avons la relation (9), qui peut se mettre sous la forme

$$F = \frac{k}{a} (x_1 - x_0 + az) = 2\Omega^2 \frac{P}{g} (1 + \varepsilon)^2 (x_1 + az) a.$$

» Si nous faisons varier F d'une quantité ΔF , il en résultera pour ε une variation $\Delta\varepsilon$ donnée très approximativement par

$$\Delta F = 4\Omega^2 \frac{P}{g} a (x_1 + az) \Delta\varepsilon.$$

» D'où l'on peut tirer, en désignant par F_0 la valeur initiale de F ,

$$(13) \quad \Delta\varepsilon = \frac{\Delta F}{2F_0},$$

expression semblable à celle obtenue dans le cas des régulateurs à poids.

Effort à produire sur le manchon pour le tenir écarté de sa position d'équilibre d'une quantité Δz .

» L'expression générale de l'effort sur le manchon, supposé écarté d'une position d'équilibre z d'une quantité Δz , est

$$\Delta F = \frac{k}{a} [x_1 - x_0 + a(z + \Delta z)] - \frac{2P}{g} a \Omega^2 (1 + \varepsilon)^2 [x_1 + a(z + \Delta z)].$$

» D'autre part, on a pour la position d'équilibre

$$\frac{k}{a} (x_1 - x_0 + az) - \frac{2p}{g} a \Omega^2 (1 + \varepsilon)^2 (x_1 + az) = 0.$$

» On en déduit

$$\Delta F = k \Delta z - \frac{2pa^2}{g} \Omega^2 (1 + \varepsilon)^2 \Delta z.$$

» Et, en remplaçant $\frac{2p}{g} a^2 \Omega^2 (1 + \varepsilon)^2$ par sa valeur,

$$(14) \quad \Delta F = \Delta z \times k \frac{x_0}{x_1 + az}.$$

» L'effort statique F a pour valeur initiale

$$F_0 = \frac{k}{a} (x_1 - x_0).$$

» En remplaçant k par sa valeur en fonction de F_0 , et en éliminant x_0 au moyen de l'équation (10), on obtient

$$(15) \quad \Delta F = 2EF_0 \frac{\Delta z}{c} \frac{x_1 + ac}{x_1 + az}.$$

» Pour $z = 0$, l'équation (15) devient

$$\Delta F = 2EF_0 \frac{\Delta z}{c} \frac{x_1 + ac}{x_1}.$$

» Pour $z = c$, cette équation devient

$$\Delta F = 2EF_0 \frac{\Delta z}{c}.$$

» La première expression est plus grande que $2EF_0 \frac{\Delta z}{c}$; mais, comme ac est petit par rapport à x_1 , les deux expressions de ΔF pour $z = 0$ et $z = c$ sont toujours voisines l'une de l'autre, et voisines de la valeur correspondante à $z = c$.

» On peut donc écrire avec une approximation suffisante

$$\Delta F = 2EF_0 \frac{\Delta z}{c},$$

et, inversement,

$$\frac{\Delta z}{c} = \frac{\Delta F}{2EF_0},$$

expressions semblables à celles obtenues dans le cas des régulateurs à poids.

» En résumé, nous pouvons conclure de l'étude ci-dessus les lois générales suivantes :

» 1° La position du manchon est une fonction sensiblement linéaire de la vitesse, c'est-à-dire que l'on a sensiblement

$$\frac{z}{c} = \frac{\varepsilon}{E}.$$

» Au cas où la puissance motrice varie proportionnellement au déplacement du manchon, on a dès lors

$$\frac{W_m - W}{W_m} = \frac{z}{c} = \frac{\varepsilon}{E}.$$

» 2° La modification de la vitesse de régime produite par l'addition sur le manchon d'une force ΔF est proportionnelle à cette force et inversement proportionnelle à l'effort statique exercé sur le manchon

$$\Delta \varepsilon = \frac{\Delta F}{2F},$$

d'où l'on tire aussi

$$\Delta F = 2F \Delta \varepsilon.$$

» 3° L'effort à produire sur le manchon pour le tenir écarté de sa position d'équilibre d'une quantité Δz est proportionnel au rapport de cet écart à la course totale

$$\Delta F = 2EF \frac{\Delta z}{c},$$

d'où l'on tire aussi

$$\frac{\Delta z}{c} = \frac{\Delta F}{2FE}.$$

§ III. — OSCILLATIONS PROPRES DES RÉGULATEURS.

» Ces oscillations sont celles qui se produisent quand le manchon du régulateur arrive à sa position d'équilibre avec une certaine vitesse, ou quand il revient vers cette position après en avoir été écarté d'une certaine quantité.

» Supposons à un moment donné le manchon du régulateur

écarté de sa position d'équilibre d'une quantité x ; il sera sollicité vers cette position par une force de la forme

$$f = Ax.$$

et nous avons vu que A était donné avec une approximation suffisante par la relation

$$A = \frac{2 EF}{c}.$$

» Si nous désignons par M l'inertie du régulateur rapportée au manchon, c'est-à-dire une masse fictive telle que $M \frac{d^2 x}{dt^2}$ équilibre l'ensemble des forces d'inertie provenant des diverses parties du régulateur pour une accélération $\frac{d^2 x}{dt^2}$ du manchon; et si nous négligeons dans une première approximation l'amortissement et les frottements, nous aurons, pour définir le mouvement que le manchon va prendre, l'équation différentielle

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} + Ax = 0$$

dont l'intégrale générale est

$$x = c \cos t \sqrt{\frac{A}{M}} + c' \sin t \sqrt{\frac{A}{M}}.$$

» Cette équation est celle d'un mouvement oscillatoire d'amplitude $\sqrt{c^2 + c'^2}$ et de période T donnée par l'égalité

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{A}} = 2\pi \sqrt{\frac{Mc}{2EF}}.$$

» Les coefficients c et c' se déterminent en fonction des conditions initiales, c'est-à-dire en fonction de l'écart initial x_0 du manchon et de sa vitesse initiale v_0 .

» Nous aurons ainsi

$$\begin{aligned} c &= x_0, \\ c' &= -v_0 \sqrt{\frac{M}{A}}. \end{aligned}$$

» Désignons par :

$$k \text{ le rapport } \frac{v_0}{x_0} \sqrt{\frac{M}{A}} = \frac{v_0}{x_0} \sqrt{\frac{Mc}{2EF}},$$

φ un angle dont la tangente soit égale à k .

» L'équation du mouvement oscillatoire pourra s'écrire

$$x = x_0 \sqrt{1 + k^2} \cos \left(t \sqrt{\frac{A}{M}} + \varphi \right).$$

» Il résulte de ce qui précède que, pour les mêmes valeurs initiales v_0 et x_0 , la période et l'amplitude des oscillations seront d'autant plus courtes :

» 1° Que la course du manchon est plus faible par rapport à l'écart de vitesse à réaliser ;

» 2° Que le rapport de l'inertie à l'effort statique est plus faible.

» Pour réduire la période et l'amplitude des oscillations propres, il y a donc avantage :

» 1° A ne pas trop se rapprocher de l'isochronisme ;

» 2° A réduire l'inertie en réalisant, au moyen de ressorts, la plus grande partie de l'effort statique ;

» 3° A réduire la course du régulateur.

» On pourra se rapprocher d'autant plus de l'isochronisme que cette course sera plus faible et que l'inertie sera moindre.

Influence de l'amortissement.

» L'amortissement se compose de deux termes :

» Un terme constant provenant des frottements, que nous désignerons par f ;

» Un terme croissant avec la vitesse du manchon, provenant du frein à huile et que nous désignerons par $R \frac{dx}{dt}$.

» Nous nous occuperons d'abord de l'influence de ce dernier terme en négligeant le premier.

» L'équation différentielle du mouvement du manchon devient, en tenant compte de l'amortissement,

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} + R \frac{dx}{dt} + A x = 0.$$

» Cette équation est celle d'un mouvement oscillatoire amorti tant que R est plus petit que $\sqrt{4AM}$.

» Quand R est égal ou supérieur à cette limite, il n'y a plus d'oscillation, et le manchon revient à sa position d'équilibre sans la dépasser.

» Pour une même valeur de A , c'est-à-dire pour une même puissance du régulateur, la valeur critique de R est d'autant plus vite atteinte que l'inertie M est moindre. C'est donc là un nouvel avantage des régulateurs à ressort.

» Il n'est d'ailleurs pas nécessaire de donner à R une valeur aussi élevée que $\sqrt{4AM}$; il y a plutôt avantage à rester un peu au-dessous de cette limite, ce qui n'empêche pas les oscillations d'être si vite amorties qu'elles peuvent être considérées comme nulles.

» Pour étudier le mouvement du manchon, posons

$$R = \lambda \sqrt{4AM},$$

λ étant un nombre compris entre 0 et 1.

» L'équation du mouvement sera donnée par l'expression bien connue

$$x = e^{-at}(c \cos bt + c' \sin bt),$$

où

$$a = \frac{R}{M} = 2\lambda \sqrt{\frac{A}{M}},$$

$$b = \sqrt{\frac{A}{M} - \frac{R^2}{4M^2}} = \sqrt{\frac{A}{M}(1 - \lambda^2)}.$$

» Les constantes c et c' se déterminent en fonction des conditions initiales

$$x = x_0, \quad \frac{dx}{dt} = -v_0 \quad \text{pour } t = 0.$$

» On en déduit

$$c = x_0, \quad c' = x_0 \frac{2\lambda - k}{\sqrt{1 - \lambda^2}},$$

k étant défini par l'expression

$$k = \frac{v_0}{x_0} \sqrt{\frac{M}{A}}.$$

» En remplaçant dans l'expression de x , on obtient

$$x = x_0 e^{-\lambda \sqrt{\frac{A}{M}} t} \left[\cos t \sqrt{\frac{A}{M}(1 - \lambda^2)} + \frac{2\lambda - k}{\sqrt{1 - \lambda^2}} \sin t \sqrt{\frac{A}{M}(1 - \lambda^2)} \right].$$

» Si nous désignons par φ un angle dont la tangente a pour valeur

$$\tan \varphi = \frac{k - 2\lambda}{\sqrt{1 - \lambda^2}},$$

on aura finalement

$$x = x_0 \sqrt{1 + \frac{(2\lambda - k)^2}{1 - \lambda^2}} e^{-\lambda t \sqrt{\frac{\Lambda}{M}}} \left\{ \cos \left[t \sqrt{\frac{\Lambda}{M} (1 - \lambda^2)} + \varphi \right] \right\}.$$

» Il est intéressant de se rendre compte de quelle quantité, à la fin de la première oscillation, le manchon dépassera sa position d'équilibre et du temps qu'il mettra à atteindre cette position extrême x_1 .

» On aura, pour $x = x_1$,

$$\frac{dx}{dt} = 0.$$

» Or

$$\frac{dx}{dt} = -x_0 \sqrt{1 + \frac{(2\lambda - k)^2}{1 - \lambda^2}} e^{-at} [b \sin(\varphi + bt) + a \cos(\varphi + bt)],$$

$$\frac{dx}{dt} = -x_0 \sqrt{(a^2 + b^2) \left[1 + \frac{(2\lambda - k)^2}{1 - \lambda^2} \right]} e^{-at} \cos(\varphi - \varphi' + bt),$$

φ' étant un angle tel que

$$\tan \varphi' = \frac{b}{a} = \frac{\sqrt{1 - \lambda^2}}{2\lambda}.$$

» Pour que $\frac{dx}{dt}$ s'annule, il faudra que

$$\cos(\varphi - \varphi' + bt) = 0,$$

c'est-à-dire que

$$t = \frac{1}{b} \left(\frac{\pi}{2} + \varphi' - \varphi \right),$$

$$t = \frac{\frac{\pi}{2} + \varphi' - \varphi}{\sqrt{1 - \lambda^2}} \sqrt{\frac{M}{\Lambda}}.$$

» La valeur correspondante de x sera

$$x_1 = -x_0 \sqrt{1 - \frac{k(4\lambda - k)}{1 + 3\lambda^2}} e^{-\frac{2\lambda}{\sqrt{1 - \lambda^2}} \left(\frac{\pi}{2} + \varphi' - \varphi \right)}.$$

» Nous avons calculé, pour diverses valeurs de k et de λ :

» 1° Les valeurs de $\frac{x_1}{x_0}$;

» 2° Les valeurs de $\frac{t}{t_0}$, t étant l'expression du temps résultant des formules ci-dessus et t_0 étant le temps $\pi \sqrt{\frac{M}{\Lambda}}$ correspondant à $k = 0$ et $\lambda = 0$.

» Les résultats de nos calculs sont consignés dans le Tableau ci-dessous :

$\lambda = 0.$		$\lambda = 0,30.$		$\lambda = 0,50.$		$\lambda = 0,70.$	
$\frac{x_1}{x_0}$	$\frac{t}{t_0}$	$\frac{x_1}{x_0}$	$\frac{t}{t_0}$	$\frac{x_1}{x_0}$	$\frac{t}{t_0}$	$\frac{x_1}{x_0}$	$\frac{t}{t_0}$
$k = 0 \dots\dots 1$	1	0,14	1,05	0,027	1,15	0,0022	1,45
$k = 0,5 \dots\dots 1,12$	0,86	0,19	0,90	0,030	1,04	0,0026	1,30
$k = 1 \dots\dots 1,41$	0,75	0,23	0,72	0,050	0,84	0,0037	1,13

» On voit, d'après ce Tableau, qu'avec une valeur de λ supérieure à 0,50 les oscillations sont tellement amorties qu'on peut les considérer comme totalement supprimées, quelles que soient les conditions initiales de vitesse et d'écart de la position d'équilibre, et cela sans que la rapidité de déplacement du manchon soit sensiblement amoindrie par rapport à la rapidité qu'il posséderait avec un amortissement nul.

Influence des frottements.

» En tenant compte de ces derniers, l'équation différentielle du mouvement du manchon devient

$$\frac{M}{dt^2} \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{R}{dt} \frac{dx}{dt} + Ax + f = 0$$

dont l'intégrale est

$$x = x_0 e^{-at} \left(\cos bt + \frac{2\lambda - k}{\sqrt{1 - \lambda^2}} \sin bt \right) - \frac{f}{A}.$$

» Le terme f de cette équation change de signe à chaque demi-oscillation. Il en résulte qu'à chaque demi-oscillation l'amplitude du mouvement oscillatoire est diminuée, du fait des frottements et indépendamment de l'action de l'amortissement, d'une quantité constante $\frac{f}{A}$.

» Aussitôt que l'amplitude a été assez réduite pour devenir inférieure à $\frac{f}{A}$, le mouvement oscillatoire prend fin et le manchon s'arrêtera dans une position comprise entre deux points situés de part et d'autre de la position d'équilibre à une distance $\frac{f}{A}$.

» Les frottements contribuent donc puissamment à éteindre les petites oscillations, et leur action, à ce point de vue, est avantageuse. Toutefois, dans un bon régulateur, leur importance doit toujours

être suffisamment réduite pour que le terme $\frac{f}{A}$ ne représente qu'une très faible fraction de la course c , faute de quoi la sensibilité et la précision de l'appareil seraient grandement altérées.

» Avec une valeur de λ supérieure à 0,50 le frottement arrêtera le mouvement oscillatoire dès la première oscillation.

Utilité de l'inertie.

» Des considérations qui précèdent on peut conclure que l'inertie est, en général, nuisible au bon fonctionnement des régulateurs. Comme il est toujours possible de la diminuer par la substitution de l'action de ressorts à l'action de poids, on peut se demander pourquoi cette inertie n'est pas toujours réduite à son minimum.

» Cela provient de ce qu'elle joue, d'autre part, un rôle utile en s'opposant aux trop brusques variations de la vitesse du manchon telles que celles que pourraient produire la réaction des organes de la distribution et l'irrégularité de la vitesse durant un tour.

» La réaction des organes de la distribution, et en particulier des déclics des machines Corliss, est d'autant moins sensible que la masse de l'ensemble du régulateur est plus grande par rapport à celle de ces organes.

» Quant à l'irrégularité de la vitesse durant un tour, elle donne lieu, sur le manchon, à des efforts variant périodiquement de sens, suivant la périodicité des irrégularités et qui, toutes choses égales d'ailleurs, donnent lieu, ainsi que nous le verrons plus loin, à des déplacements d'autant moins grands que la masse du régulateur est plus considérable et la périodicité des irrégularités plus élevée par rapport à la périodicité des oscillations propres du régulateur.

» Pour ces deux motifs, les régulateurs des machines à vapeur doivent posséder une inertie notable.

» Au contraire, pour les turbines hydrauliques où le régulateur agit par l'intermédiaire de servomoteurs dont la commande est très douce et ne donne lieu à aucun choc, et pour lesquelles la puissance motrice s'exerce régulièrement et sans impulsions, l'inertie n'a aucune utilité et l'on doit employer, de préférence, des régulateurs ayant leur effort statique produit presque en entier par des ressorts.

Périodicité des oscillations propres de divers types de régulateurs.

» Il est intéressant de se rendre compte de la valeur de cette périodicité dans les divers cas.

» Elle est donnée par la formule

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{1-\lambda^2}} \sqrt{\frac{M}{A}}.$$

» Or,

$$\frac{M}{A} = \frac{Mc}{2EF},$$

par suite,

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{1-\lambda^2}} \times \sqrt{\frac{Mc}{2EF}}.$$

» Avec les régulateurs à poids, on a sensiblement $F = Mg$, d'où

$$\frac{M}{F} = \frac{1}{g}.$$

» On en déduit

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{1-\lambda^2}} \sqrt{\frac{c}{g} \times \frac{1}{2E}}.$$

» Avec les régulateurs à ressorts, on a $F = \gamma Mg$, γ étant un coefficient plus grand que l'unité, dépendant de l'importance relative des poids et ressorts.

» On en déduit

$$T' = \frac{2\pi}{\sqrt{1-\lambda^2}} \sqrt{\frac{c}{2Eg} \times \frac{1}{\gamma}}.$$

» Nous avons fait les calculs pour diverses valeurs de $\frac{c}{2E}$, de γ et de λ .

» Ces calculs sont résumés dans le Tableau ci-après :

Valeurs de T en secondes.

		$\gamma = 1.$	$\gamma = 2.$	$\gamma = 10.$
$\lambda = 0$	$\frac{c}{2E} = 0,6 \dots \dots \dots$	1,55	1,10	0,50
	$\frac{c}{2E} = 0,3 \dots \dots \dots$	1,10	0,80	0,35
$\lambda = 0,50$	$\frac{c}{2E} = 0,6 \dots \dots \dots$	2	1,45	0,65
	$\frac{c}{2E} = 0,3 \dots \dots \dots$	1,45	1	0,46

§ IV. — OSCILLATIONS DU SYSTÈME CONSTITUÉ PAR LE RÉGULATEUR
ET LE MOTEUR.

» Ces oscillations sont celles qui interviennent en cas de variation brusque de la charge, par suite d'un amortissement trop énergique du régulateur.

» Si le manchon pouvait suivre exactement la variation de la vitesse et si, d'autre part, la variation de la puissance motrice suivait instantanément le déplacement du manchon, la machine, en cas de variation de charge, arriverait sans oscillations à une nouvelle vitesse pour laquelle la position du manchon correspondrait à une puissance motrice égale à la nouvelle valeur de la charge.

» Mais, dans la réalité, il n'en est pas ainsi :

» Au départ, le manchon est arrêté par la force d'inertie $M \frac{d^2 x}{dt^2}$, qui n'est surmontée que moyennant un écart entre la vitesse du régulateur et celle correspondant à sa position véritable.

» Une fois le manchon en mouvement, l'amortissement et les frottements interviennent pour introduire une force perturbatrice $- R \frac{dx}{dt} \pm f$.

» Enfin, la variation de la puissance ne se produit pas immédiatement après l'arrivée du manchon dans une position, mais au bout d'un certain temps variable avec le type de la machine.

» Il serait très compliqué de chercher à déterminer, en tenant compte de toutes ces causes perturbatrices, la loi exacte du mouvement que prendra le manchon. Cela ne serait d'ailleurs pas très utile. Il suffit de rechercher les conditions à remplir pour que les oscillations qui pourront prendre naissance à la suite d'une variation de la charge tendent *sûrement* à s'éteindre et non pas à s'amplifier.

» Nous examinerons particulièrement le rôle joué par l'amortissement, puis l'influence d'un retard dans la variation de la puissance par rapport aux variations de la position du manchon.

» Dans ce qui va suivre, nous désignerons par : U la force vive de l'ensemble du moteur et de la dynamo ; W_m la puissance maxima du moteur.

» Supposons que la charge vienne à varier d'une quantité Δw .

» Soient :

z_0 , la position initiale du manchon;

z , la position qui correspondrait à la nouvelle valeur de la charge;

$\Omega(1 + \varepsilon)$, la vitesse de régime correspondante.

» Quand, à la suite de la variation de la charge $\Delta\omega$, le manchon se déplace de la position z_0 vers la position z , l'amortissement introduit une force perturbatrice $\Delta F = Rv$ (v étant la vitesse d'élévation du manchon) qui tient le manchon écarté de la position qu'il occuperait, si l'amortissement n'existait pas, d'une quantité Δz donnée par l'expression

$$\Delta z = \Delta F \frac{c}{2EF} = Rv \frac{c}{2EF}.$$

» Par suite, le manchon n'occupe pas la position z quand la vitesse est devenue $\Omega(1 + \varepsilon)$: il n'arrive à cette position qu'au bout d'un temps t , après que la vitesse a atteint cette valeur, ce temps t étant défini par l'égalité

$$t = \frac{\Delta z}{v} = \frac{Rc}{2EF}.$$

» L'amortissement a donc pour effet de retarder l'action du régulateur d'un laps de temps sensiblement indépendant de l'importance de la variation de charge, mais d'autant plus considérable que le coefficient d'amortissement est plus grand.

» A ce retard t il convient d'ajouter le temps θ qui s'écoule entre le moment où le régulateur arrive à une position déterminée et celui où le réglage correspondant de la puissance motrice s'opère; ce temps θ dépend du type de moteur; il est plus grand avec les machines à expansion multiple qu'avec les machines monocylindriques.

» Le retard total dans le réglage est donc $t + \theta$. Pendant ce temps $t + \theta$, le moteur prend un accroissement de vitesse donné par la relation

$$U \Delta\varepsilon = \Delta\omega'(t + \theta),$$

$\Delta\omega'$ étant la valeur moyenne de l'excès de puissance motrice durant le temps $(t + \theta)$.

» Cet excès de puissance motrice étant certainement inférieur à $\Delta\omega$, nous aurons une limite supérieure de la perturbation de

vitesse $\Delta \varepsilon$, en faisant $\Delta \omega' = \Delta \omega$ dans l'expression ci-dessus, c'est-à-dire que la relation

$$\Delta \varepsilon = (\iota + \theta) \frac{\Delta \omega}{U}$$

nous fournira une limite supérieure de la perturbation de vitesse provenant du retard apporté à l'action du régulateur par les diverses causes perturbatrices.

» Par suite de l'augmentation de vitesse $\Delta \varepsilon$, le manchon, arrivé à la position z , n'y restera pas; il la dépassera pour un double motif :

» 1° Parce qu'il y arrive avec une certaine vitesse;

» 2° Parce que, dans cette position z , il est sollicité à continuer son mouvement par une force

$$\Delta F = 2 F \Delta \varepsilon.$$

» Cette dernière force s'annule quand le manchon parvient à une position z_1 , éloignée de z d'une quantité Δz_1 , telle que

$$\Delta z_1 = c \frac{\Delta \varepsilon}{E}.$$

» La limite supérieure de Δz_1 sera donc fournie par la relation

$$\Delta z_1 = \frac{\Delta \omega'}{EU} (\iota + \theta) c.$$

» S'il n'y avait pas d'amortissement, le régulateur tendrait même à dépasser beaucoup la position z_1 , en vertu de la vitesse acquise; mais à ce moment, et dans cette période de déplacement du manchon, le frein à huile et les frottements interviennent utilement pour amortir la force vive axiale du régulateur; quand l'amortissement est tel que la valeur de λ soit supérieure à 0,5, nous avons vu que dans sa première oscillation propre le régulateur ne peut dépasser d'une quantité appréciable la position correspondant à l'équilibre statique.

» Par suite, nous pourrions admettre en toute sécurité que, pour les valeurs de λ supérieures à 0,50, la limite supérieure du déplacement du manchon sera le point z_1 , dont la distance Δz_1 au point z est donnée par l'égalité

$$\Delta z_1 = c \frac{\Delta \omega'}{EU} (\iota + \theta).$$

» Cette position z_1 du régulateur correspond à une puissance motrice inférieure à la nouvelle valeur de la charge (c'est-à-dire à la puissance motrice correspondant à la position z) d'une quantité Δw_1 , définie par la relation

$$\Delta w_1 = W_m \frac{\Delta z_1}{c},$$

et, en remplaçant $\frac{\Delta z_1}{c}$ par sa valeur,

$$\Delta w_1 = \Delta w \frac{W_m}{EU} (t + \theta).$$

» Par conséquent, la première oscillation produite par un brusque excès Δw de la puissance motrice produira un *manque* de cette puissance motrice, défini par la relation ci-dessus.

» Un raisonnement identique montrerait qu'à la suite de ce manque Δw_1 de puissance motrice la machine ralentira, le régulateur descendra et, dans sa deuxième oscillation, dépassera la position d'équilibre z d'une quantité correspondant à un *excès* de puissance motrice Δw_2 dont la limite supérieure sera

$$\Delta w_2 = \Delta w_1 \frac{W_m}{EU} (t + \theta),$$

et ainsi de suite.

» Il en résulte que, si le terme $\frac{W_m}{EU} (t + \theta)$ est sensiblement inférieur à l'unité, l'amplitude des mouvements successifs du régulateur ira en diminuant rapidement et que les oscillations s'éteindront.

» Au contraire, elles pourront s'amplifier et persister indéfiniment sans qu'un équilibre stable puisse s'établir, si ce terme $\frac{W_m}{EU} (t + \theta)$ est plus grand que l'unité.

» Par suite, en désignant par σ un coefficient de sécurité compris entre 0 et 1, et d'autant plus faible que l'on voudra un amortissement plus rapide des oscillations provoquées par les variations de charge, nous devons avoir

$$\frac{W_m}{EU} (t + \theta) = \sigma.$$

On en déduit

$$\frac{EU}{W_m} = \frac{1}{\sigma} (t + \theta);$$

$\frac{EU}{W_m}$ n'est autre chose que la force vive emmagasinée dans le volant

par unité de puissance maxima du moteur entre les limites de vitesses Ω et $\Omega(1 + E)$.

» En d'autres termes, $\frac{EU}{W_m}$ est le temps que mettrait le moteur à accélérer de la quantité E sous l'effet de la pleine charge W_m , ou de la quantité αE sous l'effet d'une charge αW_m , c'est-à-dire c'est le temps théorique mis par le moteur pour passer d'une vitesse de régime à l'autre sous l'effet d'une charge égale à la différence des charges correspondant respectivement à ces deux vitesses.

» Il faut donc que ce temps soit sensiblement inférieur au retard produit dans l'action du régulateur par l'ensemble des causes perturbatrices.

» C'est ce que notre collègue, M. Van der Stegen, exprimait d'une manière imagée en disant que « le volant doit être plus paresseux que le régulateur ».

» La relation

$$\frac{U}{W_m} = \frac{1}{E\sigma}(\iota + \theta)$$

permet de calculer le poids qu'il est nécessaire de donner au volant en fonction de l'amortissement.

» En effet, remplaçons, dans l'expression de $\frac{U}{W_m}$, ι par sa valeur $\frac{Rc}{2EF}$, et posons

$$R = 2\lambda\sqrt{AM} = 2\lambda\sqrt{\frac{2EFM}{c}}.$$

Nous aurons finalement

$$\frac{U}{W_m} = \frac{\theta}{E\sigma} + \frac{\lambda}{\sigma}\sqrt{\frac{2Mc}{E^3F}}.$$

» Cette relation, qui fixe la force vive à donner au volant par unité de puissance maxima du moteur, est absolument indépendante de la considération de l'écart angulaire : elle détermine une limite inférieure pour le poids du volant compatible avec un fonctionnement irréprochable du régulateur.

» Ce poids devra être d'autant plus grand :

» 1° Que le rapport $\frac{M}{F}$ de l'inertie à la puissance du régulateur sera plus considérable;

- » 2° Que la course c sera plus longue;
- » 3° Que l'isochronisme sera plus parfait, ce dernier facteur ayant un rôle prépondérant, puisque le terme E entre à une puissance triple des autres;
- » 4° Que le retard θ apporté au réglage sera plus grand.
- » A ce dernier point de vue, les machines compound et triplex nécessiteraient donc un volant plus fort que les monocylindriques.
- » Pour ce temps θ , on pourra admettre $\frac{1}{4}$ de la durée d'une révolution avec les machines à expansion simple et la moitié de cette durée avec les machines à expansion multiple.
- » Supposons une machine à vapeur tournant à 100 tours, munie d'un régulateur à poids pour lequel on aura

$$\begin{aligned} F &= Mg, \\ E &= 0,05, \\ c &= 5^{\text{cm}}. \end{aligned}$$

» Soient

$$\begin{aligned} \lambda &= 0,50, \\ \sigma &= 0,50, \\ \theta &= 0^{\text{s}}, 15. \end{aligned}$$

Nous aurons :

$$\begin{aligned} \frac{U}{W_m} &= \frac{0,15}{0,025} + \sqrt{2 \times 0,005 \times \frac{1}{(0,05)^2}}, \\ \frac{U}{W_m} &= 15^{\text{s}}. \end{aligned}$$

» La demi-force vive du volant devra donc être de

$$\frac{15 \times 75}{2} = 565^{\text{kgm}} \text{ par cheval de puissance maxima,}$$

ce qui correspond à un poids de volant de 15^{kg} à 20^{kg} par cheval.

» Pour les turbines réglées par servomoteur, les choses se passent un peu différemment; en effet, le retard dans l'action du régulateur dépend de la rapidité avec laquelle le servomoteur modifie l'admission de l'eau dans la turbine, et cette dernière est limitée, surtout dans le cas des hautes chutes, par la nécessité d'éviter la production

de coups de bélier ou seulement de surpressions exagérées, notamment lors des brusques augmentations de la charge.

» Tant que les variations de charges sont suffisamment faibles pour que la vitesse de déplacement du servomoteur soit plus grande que celle correspondant à la vitesse de déplacement du manchon, le retard θ peut être considéré comme nul; au contraire, quand les variations de charge sont telles que le servomoteur ne peut suivre assez rapidement le mouvement du régulateur, il faut ajouter, au retard dû à l'amortissement, le retard provenant de cette différence de vitesse.

» Généralement, l'influence de ce dernier peut être négligée aussitôt que le volant est assez lourd pour que le servomoteur puisse suivre les déplacements du régulateur pour des variations de charge inférieures à la demi-charge, et cette considération fixe, pour le poids du volant, une limite inférieure plus élevée que la limite à laquelle on serait conduit par la seule considération du retard dû à l'amortissement.

» En effet, la formule

$$\frac{U}{W_m} = \frac{\lambda}{\sigma} \sqrt{\frac{2Mc}{E^3 F}}$$

conduirait, pour

$$\frac{\lambda}{\sigma} = 1,$$

$$F = 10 Mg,$$

$$E = 0,05,$$

$$c = 3^{\text{cm}},$$

à une demi-force vive par cheval de puissance maxima de 85^{kgm} .

» Si, d'autre part, nous exprimons que, sous l'effet d'une variation de charge égale à la moitié de la puissance maxima, le déplacement du régulateur se fait dans le même temps que celui mis par le servomoteur à se déplacer de la quantité correspondante (c'est-à-dire à la moitié du temps pris par le servomoteur pour parcourir sa course totale), nous aurons la relation

$$\frac{U}{W_m} = \frac{T}{4E}.$$

» Soient

$$T = 2 \text{ secondes},$$

$$E = 0,05.$$

On en déduit

$$\frac{U}{W_m} = 10 \text{ secondes,}$$

ce qui conduit à une demi-force vive du volant de 375^{kgm} par cheval de puissance maxima.

*Oscillations du régulateur produites par l'accouplement
de l'alternateur avec le réseau.*

» Dans ce qui précède, nous avons passé en revue les conditions à remplir pour que le fonctionnement du régulateur ne soit pas susceptible d'éprouver des oscillations de nature à provoquer des impulsions de la puissance motrice.

» Ces conditions seraient suffisantes pour les régulateurs des machines motrices ou des machines motrices actionnant des dynamos à courant continu ou des alternateurs isolés.

» Mais elles ne suffisent pas quand les machines motrices actionnent des alternateurs accouplés en parallèle. Dans ce cas, même si les régulateurs ne sont pas susceptibles d'osciller par eux-mêmes, ces oscillations peuvent prendre naissance à la suite d'oscillations dans le mouvement de l'alternateur, par exemple, par suite de variations brusques de la charge et par suite des écarts angulaires provenant des irrégularités du couple moteur.

» Pour que le fonctionnement des régulateurs soit tout à fait satisfaisant, il faut donc non seulement qu'ils ne puissent osciller par eux-mêmes, mais encore qu'ils ne soient pas sensibles aux diverses oscillations de la machine qui peuvent prendre naissance indépendamment d'eux.

» Examinons l'influence que peuvent avoir les mouvements pendulaires d'un moteur sur son régulateur.

» Quand un moteur éprouve un mouvement pendulaire qui vient se superposer à son mouvement de rotation uniforme, la vitesse angulaire varie périodiquement entre deux limites extrêmes $\Omega(1 + \varepsilon_0)$ et $\Omega(1 - \varepsilon_0)$ d'autant plus écartées que l'amplitude et la fréquence du mouvement pendulaire sont plus élevées.

» Si nous supposons le manchon du régulateur dans la position correspondant à la vitesse moyenne Ω , les variations périodiques de

la vitesse en dessus et en dessous de Ω développeront sur ce manchon des efforts variant périodiquement de sens et d'intensité et dont les valeurs maxima seront données par la relation

$$f_0 = 2 F \epsilon_0.$$

» Si nous supposons que ϵ varie suivant la loi sinusoïdale, nous aurons, en désignant par τ la période des variations de ϵ ,

$$f = f_0 \cos \frac{2\pi}{\tau} t$$

ou, en posant $\frac{2\pi}{\tau} = \omega$,

$$f = f_0 \cos \omega t.$$

» Ces efforts entraîneront des déplacements périodiques de même fréquence du régulateur.

» Si nous désignons à un moment donné par :

x la distance du manchon à la position d'équilibre correspondant à la vitesse Ω ;

M, R, A les mêmes quantités que dans notre étude des oscillations propres des régulateurs,

nous aurons, pour définir le mouvement du manchon, l'équation différentielle

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} + R \frac{dx}{dt} + A x + f_0 \cos \omega t = 0,$$

dont l'intégration donne

$$x = \frac{f_0}{R^2 \omega^2 + (M \omega^2 - A)^2} [(M \omega^2 - A) \cos \omega t - R \omega \sin \omega t].$$

» Soit φ un angle tel que

$$\tan \varphi = \frac{R \omega}{M \omega^2 - A};$$

l'expression de x pourra s'écrire

$$x = \frac{f_0}{\sqrt{R^2 \omega^2 + (M \omega^2 - A)^2}} \cos(\omega t + \varphi).$$

» Le mouvement du manchon sera donc un mouvement oscillatoire de fréquence ω décalé d'un temps $\frac{\varphi}{\omega}$ par rapport au mouvement oscillatoire du moteur et dont l'amplitude sera donnée par

l'expression

$$x_1 = \frac{f_0}{\sqrt{R^2 \omega^2 + (M \omega^2 - A)^2}}.$$

» Nous avons, d'autre part,

$$f_0 = 2 F \varepsilon_0,$$

$$A = \frac{2 E F}{c}.$$

» On a donc finalement

$$f_0 = A c \frac{\varepsilon_0}{E}$$

et

$$x_1 = c \frac{\varepsilon_0}{E} \frac{A}{\sqrt{R^2 \omega^2 + (M \omega^2 - A)^2}}.$$

» Si l'inertie et l'amortissement étaient nuls, l'amplitude du mouvement oscillatoire du manchon serait donnée par

$$x_0 = c \frac{\varepsilon_0}{E}.$$

» Cette amplitude serait donc, comme on pouvait le prévoir *a priori*, une fraction de la course égale au rapport de l'irrégularité ε_0 à l'écart de vitesse E .

» Toutes choses égales d'ailleurs, les perturbations de la puissance motrice produites par les mouvements pendulaires seront donc d'autant moindres que le rapport $\frac{\varepsilon_0}{E}$ sera plus faible, c'est-à-dire que l'on sera plus éloigné de l'isochronisme parfait.

» Examinons la valeur du rapport $\frac{x_1}{x_0}$, c'est-à-dire voyons dans quelles proportions et dans quel sens l'amortissement et l'inertie vont modifier l'amplitude du mouvement pendulaire du manchon.

» Nous avons

$$\frac{x_1}{x_0} = \frac{A}{\sqrt{R^2 \omega^2 + (M \omega^2 - A)^2}}.$$

» Posons

$$R = \lambda \sqrt{4 A M},$$

$$\omega = \frac{2 \pi}{\tau},$$

$$\tau_0 = 2 \pi \sqrt{\frac{M}{A}}$$

(τ_0 étant la durée des oscillations propres du régulateur non amorti).

» Nous aurons

$$\frac{x_1}{x_0} = \frac{1}{\sqrt{4\lambda^2 \left(\frac{\tau_0}{\tau}\right)^2 + \left[\left(\frac{\tau_0}{\tau}\right)^2 - 1\right]^2}}$$

et, en posant $\frac{\tau_0}{\tau} = n$,

$$\frac{x_1}{x_0} = \frac{1}{\sqrt{4\lambda^2 n^2 + (n^2 - 1)^2}},$$

expression dans laquelle :

λ est le coefficient d'amortissement;

n le rapport des périodes des oscillations propres du régulateur et des oscillations du mouvement pendulaire.

» Quand l'amortissement est nul, on a

$$\lambda = 0 \quad \text{et} \quad \frac{x_1}{x_0} = \frac{1}{n^2 - 1}.$$

» Pour $n = 1$, $\frac{x_1}{x_0} = \infty$.

» L'égalité $n = 1$ exprime qu'il y a résonance entre la période propre d'oscillation du régulateur et les mouvements pendulaires de l'alternateur; sans amortissement, le régulateur éprouverait alors, même pour de très faibles variations de ε , des mouvements désordonnés d'une extrémité à l'autre de sa course.

» Quand la valeur de λ n'est pas nulle, le rapport $\frac{x_1}{x_0}$ ne peut plus devenir infini. Il est alors intéressant de se rendre compte pour quelle valeur de n ce rapport est maximum.

» Cette valeur s'obtiendra en annulant la dérivée par rapport à n de la quantité sous le radical, ce qui donne

$$n = \sqrt{1 - 2\lambda^2}.$$

» La valeur correspondante de $\frac{x_1}{x_0}$ est alors

$$\left(\frac{x_1}{x_0}\right)_{\max.} = \frac{1}{2\lambda\sqrt{1 - \lambda^2}},$$

alors que, pour la résonance, c'est-à-dire pour $n = 1$, sa valeur ne

serait que

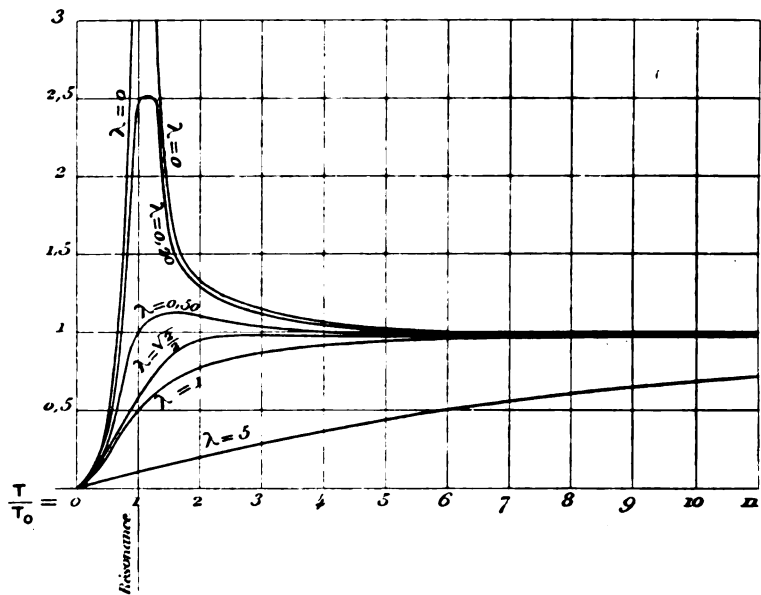
$$\left(\frac{x_1}{x_0}\right)_{\text{rés.}} = \frac{1}{2\lambda}.$$

» Par suite, la perturbation n'est plus maxima pour la résonance, mais pour une périodicité des mouvements pendulaires supérieure à celle correspondant à la résonance.

» Quand λ est suffisamment grand pour que $1 - 2\lambda^2$ devienne négatif, il n'y a plus de maximum pour le rapport $\frac{x_1}{x_0}$.

» Ce rapport augmente alors constamment, au fur et à mesure que n diminue, c'est-à-dire au fur et à mesure que la périodicité

Fig. 3.



des mouvements pendulaires s'allonge. Mais, dans ce cas, ce rapport est toujours inférieur à l'unité, et il tend vers l'unité quand n tend vers zéro et τ vers l'infini.

» Pour rendre ces résultats plus tangibles, nous avons tracé les courbes représentant, pour diverses valeurs de λ , les valeurs du rapport $\frac{x_1}{x_0}$ en fonction de $\frac{1}{n} = \frac{\tau}{\tau_0}$.

» Ces courbes montrent :

» 1° Qu'au voisinage de la résonance $\frac{1}{n} = 1$ la valeur de λ joue

un rôle prédominant, mais qu'en dessus et en dessous de la résonance ce terme influe peu sur la valeur de $\frac{x_1}{x_0}$;

» 2° Que pour réduire $\frac{x_1}{x_0}$ à une faible fraction de l'unité, il faut soit donner à λ des valeurs énormes, soit diminuer la valeur de $\frac{1}{n}$ notablement au-dessous de l'unité, c'est-à-dire adopter un régulateur possédant une grande période d'oscillation τ_0 , par rapport à la période τ .

» On en conclut qu'il y aurait tout intérêt, à ce point de vue spécial (et tant que la chose est possible), à adopter un régulateur tel que *sa période d'oscillation soit supérieure à celle de tous les mouvements pendulaires qui peuvent se produire.*

» Ces mouvements pendulaires sont de deux sortes :

» 1° Ceux qui proviennent de l'irrégularité périodique du couple moteur (et qui ont, par suite, un caractère permanent);

» 2° Ceux qui proviennent des oscillations des alternateurs provoquées par des variations brusques non périodiques du couple moteur et qui ne durent, par suite, qu'un temps limité après le phénomène qui leur a donné naissance.

» Nous allons en étudier successivement les effets.

Mouvements pendulaires provenant des irrégularités du couple moteur.

» Ces mouvements ont été étudiés complètement par nos collègues MM. David et Boucherot, lors de leurs communications sur *le mouvement des machines à vapeur et accouplement des alternateurs en parallèle.*

» Nous rappelons que leur fréquence est égale à celle du terme correspondant de l'expression

$$C = C_0 + C_1 \sin(\Omega t + \varphi_1) + C_2 \sin(2\Omega t + \varphi_2) + \dots$$

représentant la partie constante et les harmoniques supérieures du couple moteur

» En général, dans les machines monocylindriques, le terme fondamental en $n\Omega$ est celui qui a pour fréquence la fréquence des impulsions; c'est-à-dire c'est le terme en 2Ω . Avec les machines à plusieurs manivelles, les termes en 2Ω , 3Ω et 4Ω peuvent avoir

une importance égale; mais, comme le plus dangereux est celui qui possède la plus basse fréquence, il suffira de considérer ce qui se passe avec le terme en 2Ω .

» Cette fréquence 2Ω est généralement très supérieure à la fréquence des oscillations des régulateurs à poids employés ordinairement sur les machines à vapeur; aussi, avec ces régulateurs, les mouvements pendulaires provenant de l'irrégularité du couple moteur ne donnent lieu qu'à des déplacements insignifiants du manchon.

» Supposons, par exemple, une machine monocylindrique tournant à 75 tours, munie d'un volant réduisant les écarts maxima de vitesse à $\frac{1}{200}$ de la vitesse moyenne, et d'un régulateur à poids défini par les données :

$$c = 6^{\text{cm}},$$

$$E = 0,05,$$

$$\lambda = 0,50,$$

$$F = Mg.$$

» Nous aurons

$$\frac{\varepsilon_0}{E} = \frac{0,005}{0,05} = 0,10,$$

$$T_0 = \pi \sqrt{\frac{0,06}{2g \times 0,05}} = 1,55,$$

$$T_1 = \frac{60}{2 \times 75} = 0,40,$$

$$n = \frac{T_0}{T_1} = 3,875.$$

» Nous en déduirons

$$\frac{x_1}{x_0} = \frac{1}{\sqrt{4 \times 0,25 \times 3,875^2 + (3,875^2 - 1)^2}} = 0,069,$$

$$x_0 = 0,10c,$$

d'où

$$x_1 = 0,0069c,$$

ce qui est tout à fait insignifiant.

» Si l'amortissement λ avait été nul, on aurait eu

$$\frac{x_1}{x_0} = 0,071,$$

$$x_1 = 0,0071c.$$

» L'amortissement n'intervient donc pour ainsi dire pas, et c'est à l'inertie du régulateur qu'est due l'énorme réduction de l'amplitude des oscillations.

» Supposons maintenant la même machine munie d'un régulateur à ressorts défini par les données :

$$F = 10 M g,$$

$$\lambda = 0,50,$$

$$\frac{c}{2E} = 0,3.$$

» On aurait

$$T_0 = 0^s,35,$$

$$T_1 = 0^s,50,$$

$$n = 0,875,$$

d'où

$$\frac{x_1}{x_0} = \frac{1}{\sqrt{0,875^2 + (0,875^2 - 1)^2}} = 1,$$

$$x_1 = 0,10 c.$$

» Avec un amortissement nul, on aurait

$$\frac{x_1}{x_0} = 2,1.$$

$$x_1 = 0,21 c.$$

» Les déplacements du régulateur deviendraient, dans ce cas, très considérables, et un amortissement, même énergétique, ne suffirait pas à les réduire suffisamment.

» Les machines à vapeur à vitesse moyenne doivent donc, de toute nécessité, être munies de régulateurs à grande inertie; de même, *a fortiori*, pour les moteurs à gaz à 2 ou 4 temps.

» Ces régulateurs à grande inertie offrent, comme nous l'avons vu, l'inconvénient de nécessiter des volants lourds; mais, comme ceux-ci sont déjà nécessaires d'autre part pour allonger la périodicité des oscillations propres des alternateurs, cet inconvénient est plus apparent que réel; volants lourds et régulateurs à grande inertie sont donc, pour les machines à vitesse modérée, les conséquences obligées de l'irrégularité du couple moteur. Celles de ces machines sur lesquelles on croirait pouvoir faire emploi de volants très légers en adoptant des régulateurs à très faible inertie donne-

raient des résultats déplorables, puisqu'on tendrait ainsi à faire produire la résonance à la fois pour les trois périodicités : irrégularité du couple moteur, oscillations propres de l'alternateur et oscillations propres du régulateur, ce qui est le cas le plus désastreux qui puisse se produire.

» Au contraire, pour les machines à grande vitesse, on pourra sans inconvénients réduire à la fois l'inertie du régulateur et celle du volant, et utiliser des régulateurs à ressorts tout en réalisant d'excellentes conditions de fonctionnement.

Mouvements pendulaires provenant des variations non périodiques du couple moteur.

» Ces mouvements ont toujours une fréquence beaucoup plus basse que les premières, puisqu'ils ont la périodicité des oscillations propres des alternateurs, qui doit essentiellement être notablement plus élevée que la périodicité des irrégularités du couple moteur.

» Les variations de la vitesse angulaire auxquelles ils donnent lieu, tout en étant généralement faibles, sont cependant loin d'être négligeables et sont tout à fait comparables aux variations de vitesse produites par les irrégularités du couple moteur.

» Si nous désignons par :

α l'angle de décalage maximum de l'alternateur durant son oscillation, exprimé en degrés ;

m la fréquence en cycles par seconde ;

T la durée d'une oscillation complète,

le maximum de la variation relative de la vitesse sera donné par l'égalité

$$\varepsilon_0 = \frac{2\pi}{360} \times \frac{\alpha}{mT}.$$

» Soient

$$m = 50 \text{ cycles,}$$

$$\alpha = 20^\circ,$$

$$T = 1^s,$$

$$E = 0,05.$$

» Nous aurons

$$\varepsilon_0 = 0,7 \text{ pour } 100$$

et

$$\frac{\varepsilon_0}{E} = 0,14.$$

» Pour ces mouvements pendulaires, on sera généralement, même avec les régulateurs à poids, peu éloigné des conditions de résonance.

» D'ailleurs, il ne servirait pas de beaucoup de chercher à s'en éloigner en augmentant encore l'inertie du régulateur à l'aide d'artifices tels que l'addition de poids équilibrés, car il en résulterait logiquement, ainsi que nous l'avons vu plus haut, l'obligation d'augmenter aussi l'inertie du volant et, par suite, le temps périodique de l'alternateur.

» Pour réduire les oscillations correspondantes du régulateur, il faut donc compter surtout sur l'amortissement.

» Un premier moyen consisterait à augmenter la partie constante de l'amortissement : c'est-à-dire les frottements, dont l'influence est prépondérante aux faibles vitesses du manchon.

» Dans le cas étudié ci-dessus, si l'importance f des frottements était telle que l'on eût

$$f > 0,14 Ac,$$

on éviterait tout déplacement du manchon durant l'oscillation de l'alternateur, et ces oscillations n'étant pas entretenues s'éteindraient d'elles-mêmes.

» Mais ce procédé est évidemment grossier, puisqu'il consiste, en définitive, à diminuer la sensibilité et la précision du régulateur. En outre, il est peu sûr, car les frottements sont chose éminemment variable, et, une fois le déplacement commencé, leur valeur diminue généralement beaucoup.

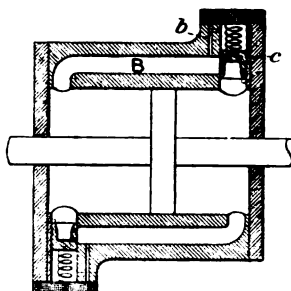
» Un deuxième moyen consiste à donner une très grande puissance au frein à huile. Mais nous avons vu que, pour obtenir par ce moyen un résultat notable, il faut adopter un coefficient d'amortissement λ tout à fait excessif et de nature à provoquer en cas de variation brusque de la charge, des oscillations à longue période du moteur, accompagnées de variations très étendues de la vitesse.

» Pour résoudre ces difficultés et satisfaire aux conditions contradictoires que doit remplir le frein à huile, un ingénieur américain, M. Emmet, a imaginé un procédé très ingénieux et qui, paraît-il, aurait donné en pratique de fort bons résultats.

» Ce procédé, qui a été décrit dans diverses revues techniques, consiste à donner à l'amortissement une très grande valeur, tempo-

rairement, pour le déplacement initial du manchon, puis à laisser

Fig. 4.



à ce dernier une liberté normale aussitôt qu'il a commencé à se déplacer.

» Ce résultat est obtenu à l'aide d'un dashpot spécial combiné comme l'indique le croquis ci-dessus.

» Le régulateur est comme bloqué tant que les valves *c* obturant les bypass *B* qui établissent la communication entre les deux faces du piston de frein ne se sont pas soulevées, et il leur faut, pour cela, un certain temps, qui dépend de la section des bypass supplémentaires *b* et de la pression qu'exerce le piston du frein, laquelle est elle-même proportionnelle à l'écart de vitesse auquel le régulateur est soumis.

» On conçoit que les choses puissent être réglées de façon que, soumise à la pression maxima à laquelle puisse donner lieu une oscillation de vitesse même étendue, la valve *C* ne s'ouvre pas pendant la durée de cette oscillation.

» Tout se passe alors, au point de vue des phénomènes oscillatoires, comme si l'amortissement avait une valeur énorme; il en résulte que les déplacements du régulateur seront rendus insignifiants et, dès lors, les oscillations n'étant pas entretenues par des impulsions synchrones de la puissance motrice s'éteindront d'elles-mêmes après qu'une cause extérieure les aura provoquées.

» Au contraire, si la charge vient à varier et que la machine accélère, la valve s'ouvre avec un léger retard et laisse le régulateur libre de modifier la puissance motrice, sans que sa position finale soit trop influencée par la résistance considérable qu'il a un instant éprouvée au début de sa course.

» Ce dispositif aurait, paraît-il, permis d'assurer le fonctionnement en parallèle d'alternateurs qu'il avait été, auparavant, impossible d'accoupler. Toutefois, il me paraît offrir l'inconvénient de retarder l'action du régulateur et, par suite, de nécessiter une forte augmentation de poids du volant. En outre, il doit nécessiter un réglage assez délicat et une surveillance assez minutieuse.

» Il m'a semblé qu'un procédé plus logique consisterait à soustraire complètement le régulateur aux mouvements pendulaires de l'alternateur et à ne le faire intervenir que quand sa vitesse moyenne, c'est-à-dire la fréquence du réseau, change, tout en lui laissant le maximum de sensibilité pour qu'il entre en action dès que cette fréquence commence à changer à la suite d'une variation de la charge.

» Ces considérations m'ont amené à concevoir une solution très simple consistant à actionner le régulateur, non pas *directement* par la machine à régler, mais par un petit moteur d'induction branché sur les barres omnibus du tableau, c'est-à-dire alimenté par le réseau.

» Dans ces conditions, la vitesse du régulateur est entièrement soustraite aux variations périodiques de vitesse des alternateurs, et cet appareil n'entrera en action qu'à la suite d'une variation de la charge. Tous les régulateurs entrèrent alors simultanément en action et tout se passera comme s'il n'y avait qu'un régulateur unique pour toutes les machines accouplées sur le réseau.

» Le dessin ci-après indique l'application de ce système à une turbine hydraulique de 1000 chevaux ; afin d'éviter les accidents auxquels aurait pu donner lieu l'arrêt du moteur pour une cause quelconque (fusion de ses plombs, court-circuit sur le réseau, etc.), un dispositif spécial de sécurité a été adopté qui pourrait, avec peu de modifications, s'employer avec n'importe quel type de machine.

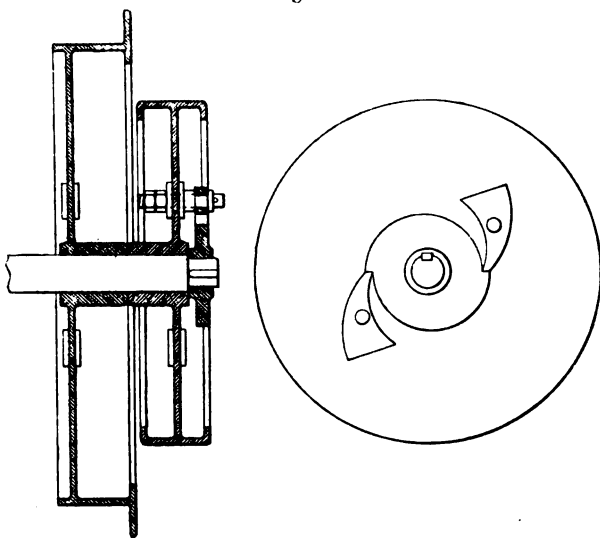
» L'arbre actionnant le régulateur était muni de deux poulies juxtaposées : l'une, calée sur cet arbre, recevait le mouvement du moteur d'induction ; l'autre, folle sur l'arbre, était actionnée directement par la turbine à une vitesse très légèrement inférieure (2 pour 100) à la vitesse de la première poulie. Celle-ci était munie de cliquets à contrepoids que la force centrifuge appliquait éner-

giquement contre une roue à rochets portée par la deuxième poulie.

» Tant que la vitesse de celle-ci restait inférieure à celle de la première, les cliquets sautaient lentement et successivement sur les dents de la roue à rochets ; mais aussitôt que, pour une raison quelconque, la vitesse de la première poulie venait à diminuer, les cliquets restaient engagés dans les dents de la roue à rochets et étaient entraînés par elle, ce qui produisait l'entraînement direct du régulateur par le moteur, à la manière ordinaire.

» Dans le premier essai qui a été fait de ce dispositif, le moteur d'induction employé possédait une puissance d'un cheval. A ma grande surprise, aussitôt le réglage établi par commande électrique, il se produisit des oscillations lentes, mais assez étendues, de la vitesse, dont il fut assez difficile, au premier abord, de déterminer la cause. Mais un examen attentif du phénomène ne tarda pas à m'inspirer la conviction que ce mécompte était entièrement dû à l'insuffisance du moteur d'induction par rapport à la force vive de

Fig. 5.



rotation du régulateur, ou plutôt à la valeur exagérée du glissement de ce moteur pour sa puissance normale (environ 8 pour 100).

» En effet, l'expérience recommencée peu après, avec un moteur plus puissant, donna des résultats tout à fait satisfaisants, et les pompes constatés en premier lieu disparurent complètement, que

l'alternateur fonctionnât seul ou qu'il fonctionnât en parallèle avec d'autres.

» Il est intéressant de se rendre compte de l'influence que peut avoir le glissement du moteur d'induction et des limites dans lesquelles il doit être maintenu.

» Soient :

P la puissance développée à un moment donné par le moteur ;

g le glissement correspondant ;

P_m et g_m la puissance maxima et le glissement correspondant.

» On sait que l'on a approximativement

$$(1) \quad P = \frac{P_m}{g_m} \times g.$$

» Désignons par :

u la force vive de rotation du régulateur et de la transmission qui l'actionne (y compris la force vive de l'induit du moteur d'induction) ;

ΔW une variation de charge définie par la fraction ρ de la pleine charge W_m qu'elle représente ;

U la force vive de l'alternateur et de la machine motrice.

» Sous l'influence de la variation de charge ΔW , la machine motrice accélère durant un temps dt d'une quantité $d\Omega$ donnée par la relation

$$U \frac{d\Omega}{\Omega} = \Delta W dt,$$

et en posant

$$d\Omega = \Omega d\varepsilon,$$

$$\Delta W = \rho W_m,$$

$$d\varepsilon = \rho \frac{W_m}{U} dt.$$

» Pendant le même temps dt , le régulateur éprouve une accélération $d\omega$ donnée par la relation

$$u \frac{d\omega}{\omega} = P dt,$$

et en posant

$$d\omega = \omega d\varepsilon',$$

$$u d\varepsilon' = P dt.$$

» Or, la puissance P du moteur est définie en fonction du glissement par la relation (1).

» D'autre part, le glissement g a pour valeur, à chaque instant,

$$g = \varepsilon - \varepsilon'.$$

» On aura donc finalement

$$u d\varepsilon' = \frac{P_m}{g_m} (\varepsilon - \varepsilon') dt,$$

et, en remplaçant dt par sa valeur en fonction de $d\varepsilon$,

$$\frac{d\varepsilon'}{d\varepsilon} = (\varepsilon - \varepsilon') \times \frac{P_m}{g_m} \times \frac{U}{\rho u W_m}.$$

» Posons

$$\frac{P_m}{g_m} \times \frac{U}{\rho u W_m} = k;$$

nous aurons

$$\frac{d\varepsilon'}{d\varepsilon} = \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{k},$$

et, en intégrant,

$$\varepsilon' = \frac{1}{k} (e^{-k\varepsilon} + k\varepsilon - 1) \quad \text{et} \quad g = \varepsilon - \varepsilon' = \frac{1}{k} (1 - e^{-k\varepsilon}).$$

» On voit donc que la limite supérieure du glissement qui pourra se produire sera donnée par la relation

$$g = \frac{1}{k}.$$

» Le retard qui en résulte dans l'action du régulateur a pour valeur

$$\theta' = g \frac{U}{\rho W_m} = g_m \times \frac{u}{P_m}.$$

» Dans l'application qui a été faite, la demi-force vive du régulateur, du moteur et de la transmission atteignait environ 140^{kgm}.

» On avait donc en chiffres ronds

$$\theta' = 0,30 \text{ seconde.}$$

» Ce retard θ' vient s'ajouter à celui provenant de l'amortissement du frein à huile et dont nous avons étudié l'influence dans la première partie de notre étude. Il conduit à augmenter la force

vive du volant par unité de puissance de la machine d'une quantité

$$\frac{U}{W_m} = \frac{\theta'}{E\sigma}.$$

» Cette quantité est faible par rapport aux forces vives de volant ordinairement admises dans les machines motrices. Mais, dans le cas particulier qui nous occupe, le retard θ' avait une très grande influence, car la turbine ne possédait aucun volant, et l'inertie des parties tournantes ne donnait pas par cheval de puissance maxima une demi-force vive supérieure à 110^{kgm}.

» En négligeant le retard dû à l'amortissement, on devait avoir, pour éviter la production d'oscillations à longues périodes :

$$\frac{g}{E} < \frac{\Delta W}{W_m},$$

ou, ce qui revient au même,

$$g < \rho E.$$

» En réalité, par suite du retard auquel l'amortissement donnait déjà lieu, on devait avoir

$$g < \rho\mu E,$$

μ étant un coefficient de sécurité égal au moins à 2 ou 2,5.

» En remplaçant g par sa valeur tirée de la relation

$$g = g_m \times \rho \times \frac{u}{P_m} \times \frac{W_m}{U},$$

on en déduit

$$\frac{P_m}{g_m} > \mu u \times \frac{W_m}{EU}.$$

» Soient :

$$\frac{W_m}{U} = 0,34,$$

$$E = 0,04,$$

$$\mu = 2,$$

$$u = 280^{\text{kgm}}.$$

» Cette relation donnait :

$$\frac{P_m}{g_m} > 4760^{\text{kgm}},$$

tandis que le premier moteur employé ne donnait que

$$\frac{P_m}{g_m} = \frac{75}{0,08} = 940^{\text{kgm}}.$$

» Dans le deuxième essai, le moteur employé développait une puissance de 5 chevaux avec un glissement de 4 pour 100, ce qui correspondait à une valeur de $\frac{P_m}{g_m}$ égale à 9400^{kgm}.

» Il était donc logique que les oscillations lentes d'abord constatées n'eussent plus lieu.

» L'emploi d'un moteur d'induction pour actionner le régulateur entraîne donc, pour l'action de celui-ci, un retard qui conduit à augmenter la force vive du volant par unité de puissance de la machine d'une quantité :

$$\frac{U'}{W_0} = \frac{\theta'}{E\sigma} = g_m \times \frac{u}{P_m} \times \frac{1}{E\sigma}.$$

» Supposons que le moteur d'induction employé soit tel qu'il puisse développer une puissance $P_m = u$ avec un glissement $g = E$, et soit $\sigma = 0,5$. La demi-force vive supplémentaire à donner au volant ne sera que de 75^{kgm}; c'est une faible fraction de la valeur généralement adoptée pour les machines à vapeur, et elle conduit cependant à l'emploi d'un moteur d'induction très faible, puisque pour une valeur de u égale à 375^{kgm} (valeur rarement dépassée, même pour des régulateurs très puissants), on n'aurait à adopter qu'un moteur d'induction développant 5 chevaux avec un glissement de 5 pour 100 ou, ce qui revient au même, 3 chevaux avec un glissement de 3 pour 100.

» D'autre part, l'emploi de ce système de commande permettant de réduire les valeurs à donner à l'inertie et à l'amortissement du régulateur conduit, de ce chef, à une réduction du poids du volant, qui compense et bien au delà l'augmentation dont nous venons d'apprécier l'importance.

» Dans les applications où aucune considération ne rend utile l'emploi d'un fort volant, il faudra seulement avoir soin d'adopter un moteur d'induction assez puissant et surtout à glissement aussi faible que possible. Mais, dans aucun cas, on n'éprouvera de difficultés à éviter les conditions qui peuvent déterminer la production des oscillations à longue période dont le hasard et des circonstances particulières nous ont amené à constater un cas.

» Nous ferons remarquer, en terminant, que le système s'applique aussi bien à l'accouplement en parallèle d'usines éloignées, hydrau-

liques ou à vapeur, et qu'il fournit un moyen de réglage simultané de tout l'ensemble des alternateurs accouplés ensemble, quelles que soient leurs positions relatives. Cette solution a donc un caractère général, et je la crois susceptible de rendre des services dans un grand nombre de cas. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. de Marchena en faisant remarquer le grand nombre de points intéressants que renferme cette communication.

La séance est levée à 11^h 16^m du soir.

PÉRIODIQUES ÉTRANGERS.

MÉMOIRES ORIGINAUX.

ALLEMAGNE.

Elektrotechnische Zeitschrift.

17/7. — Théorie de la commutation; *K. Pichelmayer*. — Torsion du champ et réaction d'induit (*fin*); *R. Bauch*. — Méthode exacte de freinage pour la détermination du rendement des moteurs; *P. Jobst*. — Dynamo-volant à courant continu de 1000 chevaux; *K. Nowak*. — Représentation simple des enroulements fermés; *W. Hübler*.

24/7. — Station municipale de Ludwigshafen; *R. Gassner*. — Répartition des courants sur les réseaux de chemins de fer; *P. Pforr*. — Appareillage pour haute tension; *H. Schuh*. — Méthode de zéro pour mesures magnétiques; *A. Rotth*.

31/7. — Installations modernes à haute tension en Amérique; *W. Blanck*. — Influence de la fermeture des encoches dans le système inducteur des moteurs à champ tournant; *W. Mollier*. — Sur l'utilisation de l'espace dans les câbles; *P. Holitscher*. — Tube à vide Gundelach Dessau; *L. Henne*.

7/8. — Locomotive avec moteurs à 10000 volts; *W. Reichel*. — Installations... (*fin*); *W. Blanck*.

14/8. — L'industrie électrique à l'Exposition de Dusseldorf; *A. Seyffert*. — Nouveau procédé de mesure de l'irrégularité et de l'écart angulaire; *F. Klönne*. — Dangers résultant des tramways pour les conduites métalliques; *R. Ulbricht*.

21/8. — Appareil pour l'essai des huiles et des métaux antifricition; *G. Dettmar*. — Sur les pertes d'un puissant moteur asynchrone; *F. Bodensteiner*. — Centrale de Lagos; *C. Hohl*.

28/8. — Que doit attendre l'Électrotechnique des exploitations agricoles? *R. Haas*. — Nouveau compteur pour courants alternatifs de l'Union; *G. Stern*. — Télégraphe imprimeur Buckingham. But de la technique de l'éclairage; *O. Lummer*.

4/9. — Nouveau procédé de démarrage pour moteurs d'induction; *A. Schwartz*. — Génératrice triphasée de 500 kilowatts. — But de la technique... (*fin*); *O. Lummer*.

11/9. — Dynamos compensées pour courant continu, système Déri; *F. Eichberg*. — Traitement des collecteurs; *R. Hellmund*. — Simple démonstration de la différence de phase dans les circuits à courant alternatif; *W. Kohtrausch*. — Bureau téléphonique de Battersea; *L. Dankwort*.

18/9. — Attaque électrolytique et polarisation des tuyaux de fer dans le sol; *A. Larsen*. — Fil de trolley, pose, fonction et protection; *M. Schiemann*. — Nouvel

appareil de mesure; *G. Dietze*. — Nouveau conjoncteur automatique; *M. Wogelsang*.

23/9. — Nouvelles expériences de phototéléphonie; *E. Ruhmer*. — Canalisation à 60000 volts sur les côtes du Pacifique; *W. Blanck*. — Contribution à la théorie de la commutation; *A. Rothert*. — Sur le renversement périodique du courant comme moyen de diminuer les corrosions électrolytiques; *A. Larsen*.

2/10. — Installation du port de Emden; *H. Langner*. — Contribution... (*fin*); *A. Rothert*. — Prédétermination de la chute de tension des génératrices polyphasées; *F. Kesserling*. — Sélecteur de tension pour mesures; *C. Heincke*.

Mesures d'isolement en marche (courant continu); *E. Bruger*. — Installation... (*fin*); *H. Langner*. — Appareil pour la mesure de la sensibilité des chronographes; *F. Posdena*.

Central Blatt für Accumulatoren und Elementenkunde.

13/7. — Exposition de Dusseldorf... (*suite*).

1/8. — Élément dont le dépolarisateur est revivifié par l'oxygène atmosphérique; *G. Rosset*.

13/8. — Recherches sur un accumulateur léger; *K. Norden*.

1/9. — Exposition de Dusseldorf... (*suite*).

13/9. — Exposition... (*suite*).

1/10. — Exposition... (*suite*). — Formation électrolytique du peroxyde au moyen du plomb métallique... (*suite*); *F. Peters*.

13/10. — État économique du marché des accumulateurs.

AMÉRIQUE.

Electrical World and Engineer.

5/7. — Mise à la terre des circuits secondaires; *B. Hood*. — Télégraphie sans fil et ondes hertziennes; *L. de Fortunest*. — Nouvelles installations du Niagara; *H. Buck*.

12/7. — Sécurité des élévateurs; *G. Frennerfelt*. — Installations... (*fin*); *H. Buck*.

19/7. — Redresseur électromagnétique pour courants alternatifs; *G. Morse*. — Rendement de la lampe à mercure d'Arons; *C. Geer*. — Télégraphie à la main et à la machine; *J. Baker*.

26/7. — Transmission dans la région du Pike's Peak; *R. Jones*. — Vitesses des machines connectées directement aux alternateurs; *E. Knowlton*. — Atténuation et distortion sur les longues lignes considérées comme phénomènes hydrauliques; *H. Eddy*. — Élévations de tension sur les circuits alternatifs; *F. Baum*.

2/8. — Section des conducteurs; *E. Griswold*. — Perfectionnements dans la télégraphie sans fil; *C. Fritts*. — Télégraphie sans fils dans la Météorologie; *E. Guarini*.

9/8. — Transmissions à 50000 volts de la Missouri River C°; *A. Clapp*. — Construction et exploitation des bureaux téléphoniques (*suite*); *A. Abbott*. — Irrigation par pompes électriques; *A. Bowie*.

16/8. — Appareils de sûreté pour circuits à haute tension; *J. Bornau*.

23/8. — Signaux pour block système; *E. Bliss*. — Tubes de Geissler et effets de

condensation; *A. Dell*. — Installation électrique des mines de Comstock; *L. Hall*. — Système Fessenden de télégraphie sans fil; *A. Collins*.

30/8. — Logement d'un bureau central; *H. Welb*. — Propriétés magnétiques du fer et de l'acier à la température de l'air liquide; *C. Troubridge*. — Canalisations souterraines pour réseaux téléphoniques; *A. Abbott*.

6/9. — Essais d'une turbine à vapeur; *W. Robb*. — Canalisations... (suite); *A. Abbott*.

13/9. — L'arc alternatif; *C. Bedell*. — Détérioration des plaques d'accumulateurs; *A. Marsh*. — Galvanisation électrolytique du fer; *d'Oscanyan*. — Canalisations... (suite); *A. Abbott*.

20/9. — Canalisations... (suite); *A. Abbott*. — Vérification des instruments de mesure; *C. Sharp*.

27/9. — Télégraphie sans fil; *A. Collins*. — Canalisations... (suite); *A. Abbott*. — Usine hydraulique de Sault-Sainte-Marie; *F. Perkins*.

4/10. — Chemin de fer électrique de Détroit; *S. Dodd*. — Conductibilité et constitution des alliages; *J. Matthews*. — Telphérage postal en Italie; *C. Pio*. — Chemin de fer à courant monophasé; *B. Lamme*.

Transactions of the American Institute of Electrical Engineers.

AVRIL. — *Statu quo* téléphonique; *A. Abbott*. — Des prix du téléphone au point de vue de l'ingénieur; *F. Dommergue*. — Consommations des ascenseurs actionnés par courants continus et alternatifs; *G. Sever*. — Telphérage; *C. Clark*. — Notes sur les procédés européens de traction par courants triphasés; *C. de Muralt*. — Nouvelle combinaison de moteurs polyphasés pour la traction; *E. Danielson*. — Méthodes d'éclairage et unités de lumière. — Nouvelle lampe Edison à tungstate de calcium; *W. Hammer*.

MAI. — Méthodes de compoundage des dynamos, alternateurs, moteurs synchrones et commutatrices; *F. Baum*. — Formules pour calculer la force électromotrice en un point quelconque d'une ligne de transmission; *M. Leblanc*. — Nouvelles installations du Niagara; *H. Buck*. — Notes sur la théorie des moteurs synchrones avec application spéciale aux oscillations; *C. Steinmetz*. — Étude sur l'échauffement des moteurs de tramways; *A. Armstrong*. — Essais comparatifs d'accélération dans la traction à vapeur et électrique; *B. Arnold* et *W. Potter*. — Une expérience avec des alternateurs monophasés sur circuit polyphasé; *C. Mailloux*. — Méthode pour déterminer au dynamomètre le travail dépensé pour actionner la division Mott Haven des chemins de fer de New-York, et comparaison entre les prix de la traction électrique et de la traction à vapeur; *B. Arnold*. — Nouveau système électropneumatique pour construction de chemin de fer électrique; *B. Arnold*. — Rôle des résistances en série et en dérivation dans les parafoudres; *P. Thomas*. — Le wattmètre électrostatique dans les mesures industrielles; *M. Walker*. — Perte d'énergie dans les isolants industriels soumis à de hautes tensions; *C. Skrimmer*. — Détermination de la caractéristique des alternateurs; *A. Herdt*. — Nouveau traceur; *R. Owens*.

ANGLETERRE.

The Electrician

17/7. — Saturation normale des électros d'alternateurs; *R. Beattie* — Acides persulfuriques; *H. Armstrong* et *E. Lowry*.

18/7. — Effets de la self-induction et de la capacité dans les transmissions électriques; *G. Baillie*. — Récepteur magnétique pour ondes électriques; *G. Marconi*. — Effet de la lumière du jour sur les transmissions à longue distance des ondes électriques; *G. Marconi*. — Turbines à vapeur; *S. Fedden*.

23/7. — Le type correct de machines pour les grandes stations; *A. Day*. — Décharge dans les gaz raréfiés; *W. Wien* (*fin*). — Nouveaux petits bureaux du Post-Office.

1/8. — Notes sur la mise à la terre; *H. Proctor*. — Bases financières et projets d'usines de raffinage des métaux; *A. Philipp*.

8/8. — Nouveaux petits bureaux... (*fin*). — Avantages des distributions à deux et trois fils; *J. Snell*. — Effets de la self-induction et de la capacité dans les transmissions électriques (*fin*); *G. Baillie*. — Électrolyse des tuyaux de gaz; *J. Swinburne*. — Puissance nominale des moteurs et générateurs.

13/8. — Méthodes modernes de travail des métaux; *H. Orcutt*. — Usage du milliampèremètre et des galvanomètres pour les essais de câble; *C. Schaefer*. — Bases financières (*suite*); *A. Philipp*. — Simple récepteur téléphonique pour télégraphie sans fil; *L. Bleekrode*. — Électrolyse... (*fin*); *J. Swinburne*.

22/8. — Méthodes modernes... (*suite*); *H. Orcutt*. — Bases financières... (*suite*); *A. Philipp*. — Usage du milliampèremètre (*suite*); *C. Schaefer*.

29/8. — Méthodes modernes... (*fin*); *H. Orcutt*. — Usage du milliampèremètre... (*suite*); *C. Schaefer*. — Essais de rendement de machines à vapeur; *R. Weighton*. — Onde électrique accompagnant une perturbation mécanique dans un métal en contact avec un électrolyte; *J. Bose*.

5/9. — Usage du milliampèremètre... (*fin*); *C. Schaefer*. — Bases financières... (*fin*); *A. Philipp*. — Onde électrique... (*fin*); *J. Bose*. — Élévation de tension dans les transmissions; *W. Woodhouse*. — Pompes pour condensation; *C. Hopkinson*.

12/9. — Usines de Newcastle; *W. Hunter*. — Électricité atmosphérique et courants terrestres; *E. Walker*. — Échauffement des induits dentés; *F. Davies*.

19/9. — Utilisation spécifique des matériaux dans les dynamos; *S. Thomson*. — Influence des actions atmosphériques sur la conductibilité de certains alliages d'aluminium: *E. Wilson*.

26/9. — Notes sur le calcul des alternateurs; *J. Denham*. — La luminosité et la théorie cinétique; *J. Butler-Burke*. — Fumivorté; *J. Raworth*. — Bases financières... (*fin*); *A. Philipp*. — Réponse électrique dans l'animal, le végétal et le métal; *J. Bose*. — Avenir du téléphone dans le Royaume-Uni; *J. Kingsbury*. — Récepteurs magnétiques pour télégraphie sans fil; *E. Wilson*.

3/10. — Système de Forest de télégraphie sans fil. — Brevets Fessenden de télégraphie sans fil; *F. Collins*. — Réglage à la main des régulateurs des machines à vapeur dans les stations; *J. Dales*. — Application de l'électricité dans les forges; *D. Selby-Bigge*. — Quelques appareils nouveaux; *B. Field*.

10/10. — Progrès récents des machines à gaz; *H. Humphreys*. — Combustion sans fumée de charbons bitumineux; *W. Booth*. — Chaudière Solignac; *W. Booth*.

Electrical Review.

11/7. — Cohérences « Castelli » et « de la Marine italienne »; *A. Banti*. — Protection des machines électriques; *J. Clarke*. — Théorie cyclonique du magnétisme; *H. Cottrell*.

18/7. — Récepteur Castelli pour téléphonie sans fil; *H. Sullivan*. — Progrès de la télégraphie dans l'espace (*suite*); *G. Marconi*.

25/7. — Essais de compteurs; *J. Dawson*. — Théorie cyclonique (*suite*); *H. Cottrell*.

1/8. — Remarques sur les installations de moteurs électriques; *A. Mayes*. — Théorie cyclonique (*fin*); *H. Cottrell*. — Destruction des ordures au point de vue sanitaire et économique; *F. Broadbent*.

8/8. — Ancienne et nouvelles théories électriques; *A. Trotter*.

15/8. — Ancienne... (*suite*); *A. Trotter*. — Une grande machine à influence: *S. Allen*.

22/8. — Mise à la terre du conducteur neutre; *A. Abraham*. — Destruction... (*suite*); *F. Broadbent*. — Relais vibrant pour câbles; *M. Gulstad*. — Phénomènes affectant la transmission d'ondes électriques sur terre et sur mer; *H. Jackson*.

30/8. — Relais vibrant... (*fin*); *K. Gulstad*. — Destruction... (*suite*); *F. Broadbent*. — Mise à la terre du fil neutre; *G. Hooghwinkel*.

5/9. — Distribution avec fil neutre non isolé; *E. Morgan*. — Méthode pratique de calcul de la réactance d'un transformateur. — Mesure de la puissance dans les circuits à courants alternatifs; *W. Rhodes*. — Ancienne... (*suite*); *A. Trotter*.

12/9. — Entretien des moteurs et de leurs accessoires; *A. Mayes*.

19/9. — Contrôle des moteurs électriques dans les ateliers; *C. Woodfin*.

26/9. — Destruction... (*fin*); *F. Broadbent*. — Freins électriques; *G. Fawcus*. — Problèmes électro-métallurgiques; *A. Beadle*. — Système Braun et Siemens de télégraphie sans fil; *E. Guarini*.

5/10. — Commutatrices et génératrices pour courant continu et alternatif; *S. Woodfield*. — Construction d'une dynamo; *H. Mavor*. — Ancienne... (*suite*); *A. Trotter*. — Nouveau mode de transmission et relais pour câble; *J. Munro*.

12/10. — Nouveau mode... (*suite*); *J. Munro*. — Conduite des voitures de tramways; *H. Phillimore*. — Problèmes électro-métallurgiques (*suite*); *A. Beadle*.

Journal of the Institution of Electrical Engineers.

AOUT. — Résistances de démarrage; *A. Gott*. — Installation d'un bureau téléphonique moderne; *F. Wormull*. — Construction de tableau pour haute tension; *H. Clothier*. — Éclairage et transmission dans les tissages; *M. Osborne*. — Notes sur les essais de moteurs de tramways; *M. Field*.

AUTRICHE.

Zeitschrift für Elektrotechnik.

13/7. — Usines électriques de Manchester; *C. Kinzbrunner*.

20/7. — Freins de grues; *E. Rosenberg*. — Débrayage instantané pour ateliers; *J. Löwy*. — Compteur à eau électrique; *W. Hentze*.

27/7. — Théorie de la commutation; *F. Punga*. — Téléphonie dans le service des chemins de fer au moyen des fils télégraphiques; *F. Nissl*.

3/8. — Théorie... (*suite*); *F. Punga*. — Installations à haute tension et courant continu; *C. Kinzbrunner*.

10/8. — Cage d'écureuil pour moteurs d'induction; *M. Osnos*. — Théorie... (*fin* ; *F. Punga*. — Éclairage de la gare de Matzlenisdorf; *C. Jordan*.

24/8. — Le polonium; *S. Saubermann*.

7/9. — Manifestations électriques pendant l'éruption du mont Pelé;

31/8. — Le premier labour électrique en Autriche; *E. Roth*. — Exposition de Düsseldorf; *J. Seidener*.

14/9. — Protection automatique des voitures de tramways; *C. Kinzbrunner*. — Téléphotographie électrique; *S. Saubermann*.

21/9. — Exposition... (*suite*); *J. Seidener*.

28/9. — Considérations sur l'accouplement direct des moteurs et des dynamos; *E. Ehnert*. — Exposition... (*fin*); *J. Seidener*.

3/10. — Remarques sur le diagramme général des transformateurs; *F. Eichberg*.

12/10. — Dimensions des surfaces de contact et des vis dans les appareils électriques; *R. Hellmund*.



BIBLIOGRAPHIE.

Étude pratique sur les différents systèmes d'éclairage. — *Gaz, acétylène, pétrole, alcool, électricité*, par MM. DEFAYS (J.) et PITTET (H.), Ingénieurs civils. — Petit in-8 (*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire*).

L'*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire* possède déjà un certain nombre de fascicules dus à M. J. Lefèvre et qui pourraient sembler à première vue traiter des mêmes matières que le Volume annoncé ci-dessus. Il n'y a cependant pas double emploi, et MM. Defays et Pittet prouvent à nouveau que le même sujet, envisagé sous des points de vue différents, peut présenter chaque fois un intérêt particulier.

Les Auteurs exposent les propriétés caractéristiques des divers systèmes d'éclairage et indiquent la voie à suivre pour permettre le choix judicieux du système le plus convenable.

Le but poursuivi, dégagé de toute idée de recherche scientifique proprement dite, est essentiellement pratique.

Très documenté, ce petit Ouvrage rendra de réels services aux industriels, aux municipalités qui voudront se rendre compte des éléments à considérer pour l'adoption d'un système d'éclairage donné.

La théorie de l'accumulateur au plomb, par le Dr FRIEDRICH DOLEZALEK, traduit de l'allemand par CH. LIAGRE, Directeur de l'usine de la *Compagnie des accumulateurs Blot*. — 1 vol. in-8 contenant 40 figures dans le texte.

Le présent Ouvrage soumet les phénomènes de l'accumulateur au plomb à l'épreuve des nouvelles théories de la Chimie physique.

L'Auteur tend à montrer que ces théories s'adaptent parfaitement à l'accumulateur et présente son travail comme un premier essai dont il y a lieu de le féliciter.

Il serait évidemment très heureux qu'une exposition méthodique des faits pût éclairer enfin les controverses encore nombreuses à ce jour sur la théorie de l'accumulateur.

M. le Dr Fr. Dolezalek a appliqué ainsi successivement les théories chimiques, thermodynamiques et osmotiques à la production du courant.

Il passe ensuite en revue les éléments essentiels des propriétés électriques de l'accumulateur.

Le traducteur a été bien inspiré en introduisant dans notre littérature électrotechnique un Ouvrage d'un caractère aussi intéressant.

**Power transmission; WESTINGHOUSE, A. C. Electric traction apparatus;
WESTINGHOUSE.**

Ces deux Volumes constituent des catalogues aussi luxueux qu'intéressants par leur caractère.

Le détail du matériel de la Westinghouse C^e est encadré par des Notices techniques dues à MM. CH.-F. SCOTT, RALPH MERSHON, KOLLOCK.

Les appareils et installations sont amplement décrits.

Les canalisations électriques, par le Docteur J. TEICHMULLER, Ingénieur, Professeur à l'École supérieure technique de Karlsruhe. PREMIÈRE PARTIE: *Fonctionnement et calculs des canalisations à courant continu*. Traduit de l'allemand par PIERRE BREUIL, Licencié ès Sciences physiques, Ingénieur Électricien, Chef de section au laboratoire d'essai du Conservatoire national des Arts et Métiers.

Le Docteur Teichmuller, Professeur à l'École supérieure de Karlsruhe, a reconnu la nécessité d'appuyer son cours par des développements plus étendus dont la place était indiquée dans un Ouvrage spécial.

Ses recherches dans la bibliographie existante ne lui ayant pas donné satisfaction, le Dr Teichmuller s'est empressé de collationner et reviser les méthodes et les moyens d'exposition relatifs au problème des canalisations électriques.

Quoique écrit hâtivement, l'Ouvrage que nous présentons ici remplit bien le but assigné et est appelé à rendre service aux étudiants comme aux ingénieurs, souvent rebutés ou embarrassés par des recherches longues dans un amas de documents jusqu'ici trop disséminés.

Le traducteur s'est attaché à transcrire un bon Ouvrage et à conserver aussi scrupuleusement que possible le style et la division adoptés par l'auteur.

Le volume est édité avec le soin habituel des publications de Th. Béranger.

LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

France.

- Actualités scientifiques*, par M. MAX DE NANSOUTY. Paris, Félix Juven, sans date [1902]; 1 vol. in-8 broché. (*Don de l'Éditeur.*)
- Comité des travaux historiques et scientifiques*, Ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts. Paris, Imprimerie Nationale; 1 vol. in-8 broché. (*Don du Ministère de l'Instruction publique.*)
- Congrès des Sociétés Savantes. Discours prononcés à la Séance générale du Congrès, le 5 avril 1902*, par M. VIDAL DE LA BLACHE et M. BOUQUET DE LA GRYE. Paris, Imprimerie Nationale, 1902; 1 brochure grand in-8. (*Don du Ministère de l'Instruction publique.*)
- IV^e Congrès international de Chimie appliquée*, tenu à Paris, du 23 au 28 juillet 1900. Compte rendu *in extenso*, par M. HENRI MOISSAN et M. FRANÇOIS DUPONT. Paris, au siège de l'Association des Chimistes de sucrerie et de distillerie, 1902; 3 vol. gr. in-8 brochés. (*Don du Ministère du Commerce et de l'Industrie, Service des Congrès internationaux.*)
- Conseils aux Inventeurs. Les Brevets d'invention. Loi du 5 juillet 1844*, modifiée par la Loi du 7 avril 1902, par G. et P. DE MESTRAL. Paris, J. Schiller, 1902; 1 brochure in-16. (*Don des Auteurs.*)
- Électricité (L') à l'Exposition de 1900*. 8^e livraison : *Traction électrique*, par J.-A. MONTPELLIER. 10^e livraison : *Éclairage électrique*, par A. BAINVILLE. Paris, V^e Dunod, 1902; 2 fasc. gr. in-4. (*Don de l'Éditeur.*)
- Étude de la législation allemande sur les Brevets d'invention*, par J. BONNET. Paris, A. Chevalier-Marescq et C^e, sans date [1902]; 1 vol. in-8 broché. (*Don de l'Auteur.*)
- Les lumières froides et refroidies en thérapeutique*, par le D^r FOVEAU DE COURMELLES. Extrait de la *Revue internationale de Thérapie physique*, 1902; 1 brochure in-8. (*Don de l'Auteur.*)
- Mécanique (La) à l'Exposition de 1900*. 7^e et 12^e livraisons. Paris, V^e Dunod, 1902; 2 fasc. gr. in-4. (*Don de l'Éditeur.*)

Télégraphie (La) sans fil et les ondes électriques. 4^e édition, augmentée et mise à jour par J. BOULANGER et G. FERRIÉ. Paris-Nancy, Berger-Levrault, 1902; 1 vol. in-8 broché. (*Don de l'Éditeur.*)

Traction (La) électrique par contacts superficiels du système Diatto, par CH. JULIUS. Liège, Léon de Thier; Paris, Gauthier-Villars, 1902; 1 vol. in-8 broché. (*Don de M. Gauthier-Villars.*)

Étranger.

Ateliers de construction OERlikon. Descriptions d'installations diverses. Zurich, Imprimerie Bollmann, 1900-1902; 22 vol. et brochures in-4 (avec illustrations). (*Don des Ateliers d'OERlikon.*)

Commande électrique de la Machine d'extraction pour le puits Zollern II de la Gelsenkirchener Bergwerks-Aktiengesellschaft. Berlin, Emil Billig, sans date [1902]; 1 brochure in-4. (*Don de la Société anonyme Siemens et Halske.*)

Fjernelsen af stov og usund luft fra fabriks- værksteds- og arbejdslokalen, af Ingenior W. KONOW. Kbenhavn, Vilhelm Prior, 1902; 1 vol. in-8 broché. (*Don de la Teknisk.*)

Merck's Index. 2^e Auflage, von E. MERCK. Darmstadt, Ed. Ræther; 1 vol. gr. in-8 cartonné toile. (*Don de l'Auteur.*)

Patents for inventions. Abridgements of specifications. Class 37, Electricity, Measuring and Testing. Period A-D, 1897-1900. London, The Patent Office, 1902; 1 vol. in-8 broché. (*Don du Patent Office.*)

Power Plants of the Pacific Coast. A paper read before the 220th Meeting of the New-York Electrical Society, by F.-A.-C. PERRINE. New-York, by New-York Electrical Society; 1 brochure gr. in-8. (*Don de la New-York Electrical Society.*)

Statistique générale de la Téléphonie dressée d'après les documents officiels par le Bureau international des administrations télégraphiques. Berne, 1902; 1 brochure gr. in-8. (*Don du Bureau international.*)



AVIS.

Le *Cours public de Photographie*, en vingt leçons, confié à M. Ernest Cousin par la Société française de Photographie, se rouvrira, pour la huitième année, le mercredi 26 novembre, à 9^h du soir, pour être continué les mercredis suivants, à la même heure, dans les locaux de la Société, 76, rue des Petits-Champs, à Paris. Les dames sont admises.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Compteur pour la mesure exacte de l'énergie dans les installations triphasées asymétriquement chargées (M. Riccardo Arno), p. 813. — Perméamètre universel (M. R.-V. Picou), p. 828. — Les aciers doux employés dans la construction des machines électriques (M. Charpy), p. 835, (M. Korda), p. 845.

BIBLIOGRAPHIE, p. 847.

OUVRAGES OFFERTS, p. 846.

TABLE DES MATIÈRES DES PÉRIODIQUES ÉTRANGERS, p. 853.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES CONTENUES DANS LE TOME II (2^e SÉRIE), p. 875.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS CITÉS DANS LE TOME II (2^e SÉRIE), p. 875.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 3 décembre 1902 (1).

PRÉSIDENCE DE M. E. HARLÉ.

La séance est ouverte à 8^h 40^m du soir.

Le procès-verbal de la dernière réunion mensuelle est adopté.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Bibliothèque (p. 854) et des demandes d'admission suivantes :

MM.

Luszciewicz (Jean-François-Louis), Directeur de la Compagnie viennoise d'Électricité, rue de Beaumur, à Vienne (Isère). — Présenté par MM. Janet et Lefèvre.

Traz (Jean de), Ingénieur de la Société française Sprague, 6, rue de Madrid, à Paris. — Présenté par MM. Mazen et Pataud.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT fait part du décès de M. de Labry, membre fondateur, et exprime les regrets de la Société.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

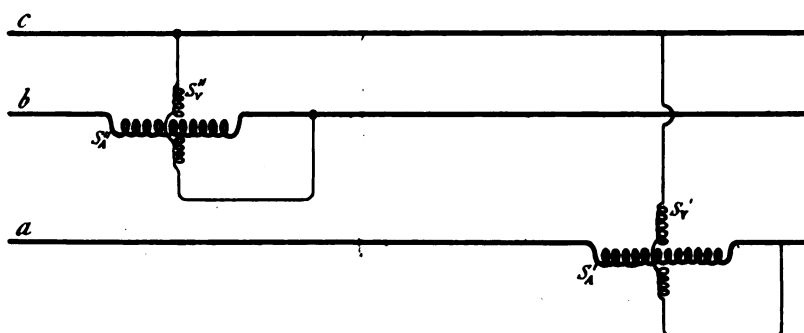
M. le PRÉSIDENT. — « M. le Professeur Arno a bien voulu venir de Milan et nous réserver la primeur d'une Communication sur un compteur d'énergie imaginé par lui.

» Vous connaissez la compétence particulière du Professeur Arno en ces sortes de questions; aussi est-ce une bonne fortune pour nous de l'entendre aujourd'hui. »

**COMPTEUR POUR LA MESURE EXACTE DE L'ÉNERGIE DANS LES INSTALLATIONS
TRIPHASÉES ASYMÉTRIQUEMENT CHARGÉES.**

M. RICCARDO ARNO. — « Messieurs, dans un système triphasé, a , b , c , asymétriquement chargé (*fig. 1*), la mesure de l'énergie se fait

Fig. 1.



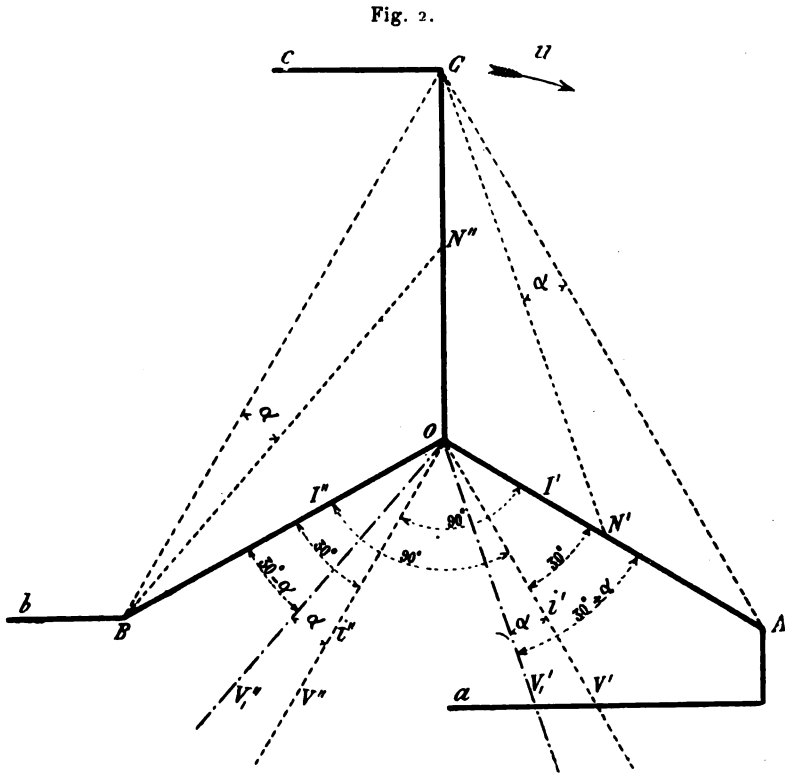
en employant la *méthode des deux compteurs*, qui consiste à insérer dans deux des conducteurs du système, par exemple en a et b , les deux bobines de fil gros ou ampèremétriques S'_a et S'_b des deux appareils, et respectivement entre le conducteur a et le troisième conducteur c , et entre les conducteurs b et c , les bobines de fil fin ou voltmétriques S'_b et S'_c desdits appareils.

» Dans ces conditions, si le courant I' en a est en retard de phase par rapport au courant I'' en b (*fig. 2*), la différence de potentiel V' entre a et c est en avance de phase de 30° par rapport à I' , tandis que la différence de potentiel V'' entre b et c est en retard de phase de 30° par rapport à I'' .

» Or, s'il s'agit de compteurs électrodynamométriques, par exemple du type Elihu Thomson, et s'il s'agit d'essayer, sur des systèmes triphasés auxquels sont appliqués des appareils inductifs asymétriquement disposés, les courants i' et i'' (*fig. 2*) qui parcourent respectivement les bobines voltmétriques S'_b et S'_c devraient se trouver exactement en phase respectivement avec les deux différences de potentiel V' et V'' , c'est-à-dire que le courant i' devrait se

trouver en avance de phase de 30° par rapport à I' et le courant i'' en retard de phase de 30° par rapport à I'' .

» Dans la pratique, il y a cependant toujours un certain retard de phase, que je représenterai par α , des courants i' et i'' par rapport aux différences de potentiel V' et V'' . Cela étant donné, j'ai imaginé d'utiliser, au lieu des deux différences de potentiel V' et V'' , deux



autres différences de potentiel V'_1 et V''_1 (fig. 2), qui sont respectivement en avance de phase de $30^\circ + \alpha$ par rapport à I' et en retard de phase de $30^\circ - \alpha$ par rapport à I'' .

» Dans ces conditions, il est évident que le courant i' se trouvera en avance de phase de 30° par rapport au courant I' et le courant i'' se trouvera en retard de phase de 30° par rapport à I'' : ce qui est précisément la condition qui devait être satisfaite.

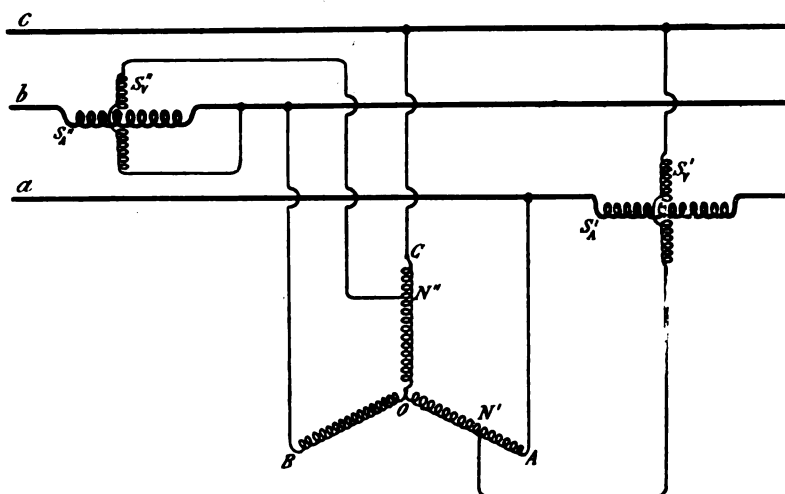
» Afin d'obtenir les deux différences de potentiel V'_1 et V''_1 , j'insère dans le système triphasé un groupement convenable OA , OB , OC (fig. 3); et j'insère la bobine voltmétrique S'_v , non plus entre

les conducteurs a et c , mais entre un point N' , choisi convenablement sur la branche OA dudit groupement, et le conducteur c ; et la bobine voltmétrique S'_v , non plus entre b et c , mais entre le conducteur b et un point N'' , choisi convenablement sur la branche OC du même groupement (*fig. 2 et 3*).

» En pratique, le groupement OA, OB, OC pourra consister dans une petite bobine à réaction ordinaire pour systèmes triphasés.

» J'appelle *compteur I* le compteur dont la bobine ampèremétrique est parcourue par le courant I' , et *compteur II* celui dont la

Fig. 3.



bobine ampèremétrique est parcourue par le courant I'' , qui est en avance de phase par rapport à I' . Il s'ensuit qu'afin d'opérer l'insertion du compteur I on devra disposer la bobine voltmétrique correspondante entre le point N' et le conducteur c . Pour l'insertion du compteur II, on devra disposer, au contraire, la bobine voltmétrique entre le conducteur b et le point N'' .

» Enfin, pour effectuer d'une manière pratique et simple le réglage des deux compteurs, on pourra procéder comme ci-après :

» En laissant subsister toutes les autres conditions d'insertion, on échange entre elles les deux bobines ampèremétriques des deux compteurs par rapport à leurs bobines voltmétriques, de façon que la bobine ampèremétrique du compteur I soit parcourue par le courant I'' et la bobine voltmétrique par le courant I' , et que la bobine

ampèremétrique du compteur II soit parcourue par le courant I' et la bobine voltmétrique par le courant i'' . Une fois que les conditions correspondant à un fonctionnement exact des deux compteurs seront atteintes (*fig. 2*), les courants I' et i'' , de même que les courants I'' et i' , devront être décalés, les uns par rapport aux autres, de 90° .

» Les choses étant disposées de la sorte, dans l'expérience préparatoire qui a été décrite, il arrivera évidemment que, dans le cas de fortes charges symétriques non inductives, comme, par exemple, lorsqu'il s'agit de lampes à incandescence, les deux compteurs se trouveront dans des conditions de repos.

» Il suffira donc de déplacer convenablement les deux points N' et N'' respectivement sur les deux branches OA et OC du groupement OA, OB, OC (*fig. 3*), jusqu'à ce que les vitesses des équipages mobiles des deux appareils soient réduites à zéro, même pour des valeurs de I' et de I'' relativement grandes.

» On peut faire des considérations analogues lorsqu'il s'agit de compteurs à induction à champ tournant, appliqués sur des installations triphasées asymétriquement chargées par des appareils inductifs. Et, dans ce cas, le procédé a une importance pratique bien plus considérable ; car, avant tout, c'est précisément le compteur à induction qui se prête le mieux pour la mesure de l'énergie dans les installations triphasées ; et encore, comme on verra d'après les considérations que je vais faire, le procédé même peut alors se réduire à être de la plus grande simplicité et de l'application la plus facile.

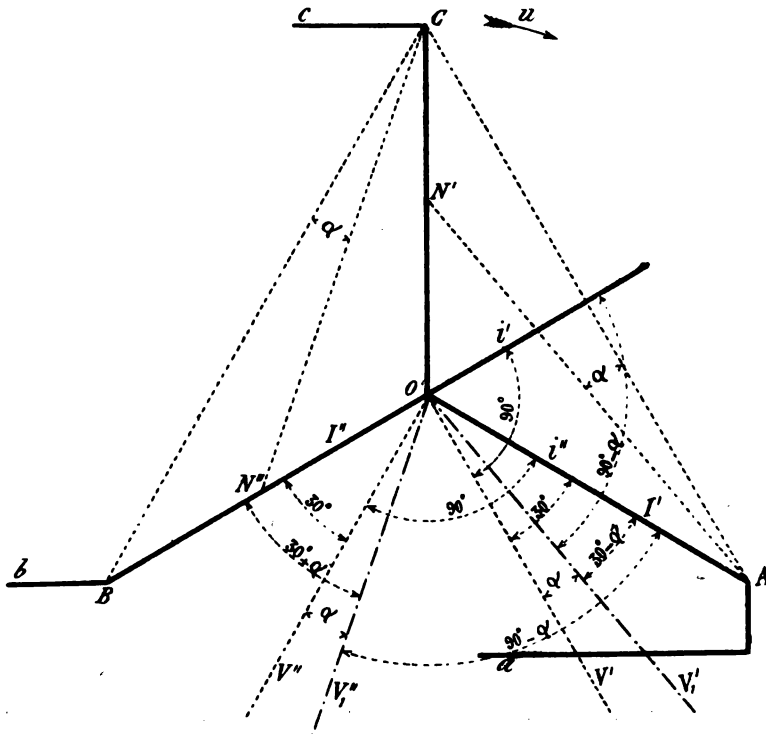
» Dans ce cas, les courants i' et i'' , qui parcourent respectivement les deux bobines voltmétriques S'_v et S''_v , devraient se trouver respectivement en retard de phase d'un angle exactement égal à 90° par rapport aux deux différences de potentiel V' et V'' (*fig. 4*). c'est-à-dire le courant i' devrait être en retard de phase de 60° par rapport au courant I' et le courant i'' en retard de phase de 120° par rapport au courant I'' .

» Comme cependant, dans la pratique, le retard de phase des courants i' et i'' par rapport aux différences de potentiel V' et V'' est toujours inférieur à 90° et précisément égal à 90° moins un angle α déterminé, j'ai imaginé d'utiliser, au lieu des deux différences de

convenablement sur la branche OB du même groupement, et le conducteur c (fig. 5 et 6).

» 2° J'insère dans le système triphasé deux groupements O'A'.

Fig. 5.

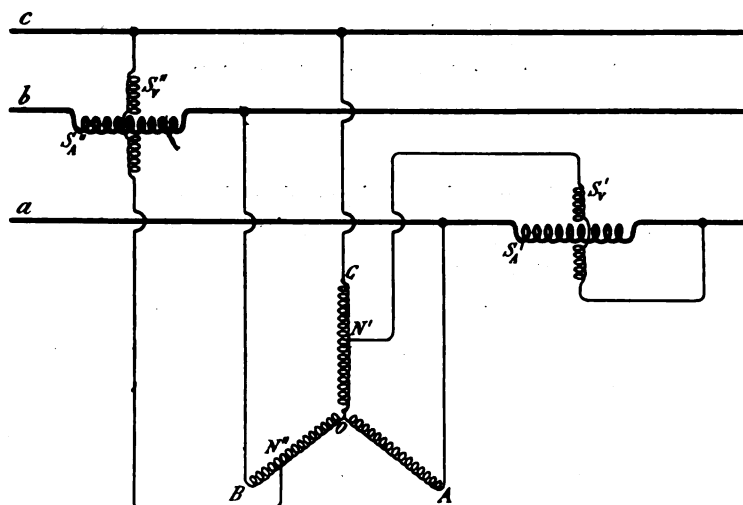


O'B', O'C' et O''A'', O''B'', O''C'' (fig. 7), dont la branche O'A' de l'un est formée par la bobine voltmétrique du premier compteur, et la branche O''C'' de l'autre est formée par la bobine voltmétrique du second compteur.

» En ce cas, afin d'opérer le réglage des compteurs, on dispose les deux branches O'C' et O''B'' appartenant respectivement aux deux groupements, de façon que les positions des noyaux magnétiques respectifs puissent varier par rapport aux enroulements des deux branches O'C' et O''B'' susdites, et l'on cherche par tâtonnements les positions de ces deux noyaux jusqu'à ce qu'on ait satisfait aux conditions sus-mentionnées, c'est-à-dire de façon que les diagrammes relatifs aux deux groupements soient ceux représentés à la figure 7.

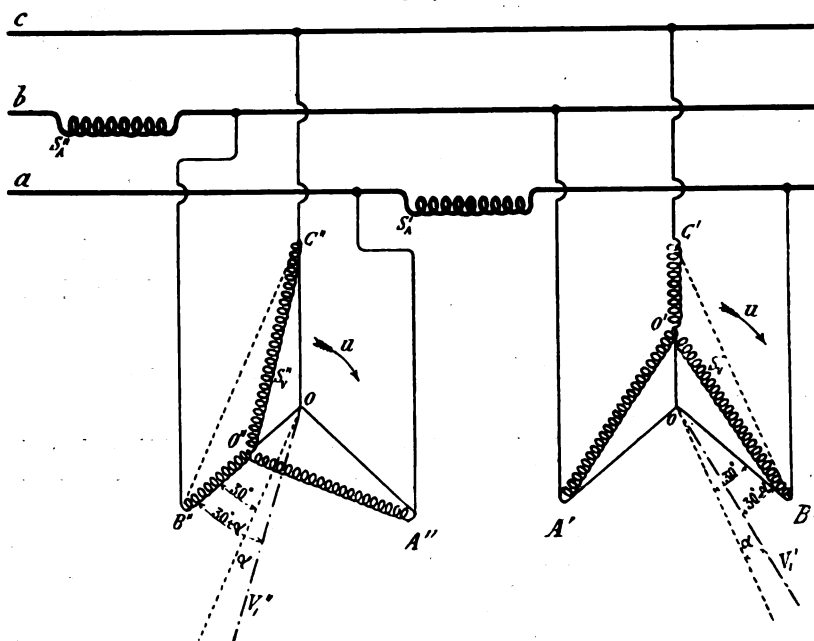
» J'appelle *compteur I* le compteur dont la bobine ampèremétrique

Fig. 6.



est parcourue par le courant I' , et *compteur II* celui dont la bobine

Fig. 7.



ampèremétrique est parcourue par le courant I'' , qui est en avance de phase par rapport à I' .

» Il s'ensuit que, pour l'insertion du compteur I, on devra disposer la bobine voltométrique correspondante entre le conducteur a et le point O' , et la bobine de réglage entre le troisième conducteur c et le point O' . Pour l'insertion du compteur II, au contraire, on devra disposer la bobine voltométrique entre le troisième conducteur c et le point O'' , et la bobine de réglage entre le conducteur b et le point O'' .

» Enfin, pour effectuer le réglage des deux compteurs d'une façon pratique et simple, on pourra procéder de la façon suivante :

» En maintenant invariables toutes les autres conditions d'insertion, on échange entre elles les deux bobines ampèremétriques des deux compteurs par rapport aux deux bobines voltométriques, de façon que la bobine ampèremétrique du compteur I soit parcourue par le courant I'' (tout en laissant la bobine voltométrique parcourue par le courant i' , et que la bobine ampèremétrique du compteur II soit parcourue par le courant I') tout en laissant la bobine voltométrique parcourue par le courant i'' .

» Lorsqu'on aura atteint les conditions correspondant à un fonctionnement exact des deux compteurs (*fig. 5*), les deux courants I' et i'' devront se trouver en phase entre eux et les deux courants I'' et i' décalés exactement de 180° , ou bien, ce qui revient au même, I'' et i' devront avoir la même phase, si l'on suppose l'un des deux courants inversé par rapport à l'autre.

» Le tout étant disposé de la sorte, dans l'expérience préparatoire que l'on vient de décrire, il devra évidemment arriver que, dans le cas d'une forte charge symétrique et non inductive, par exemple dans le cas d'une charge formée par un grand nombre de lampes à incandescence, les deux compteurs se trouveront en conditions de repos.

» Il suffira donc d'agir sur les deux noyaux mobiles des deux bobines de réglage $O'C'$ et $O''B''$ jusqu'à ce que, même s'il s'agit de valeurs de I' et de I'' relativement grandes, les vitesses des équipes mobiles des deux appareils soient réduites à zéro ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Selon le procédé que l'on vient de décrire, la régulation des deux compteurs s'effectue à la condition que le système triphasé, dans lequel on insère les deux appareils, soit absolument symétrique.

Or, pour satisfaire dans la pratique à cette condition, il suffit de charger l'installation

» Il est à observer que la méthode de régulation que l'on vient de décrire possède l'avantage que les appareils qui servent à la régulation (bobines de régulation $O'C'$, $O''C''$, et troisièmes bobines $O'B'$, $O''A''$) sont représentés exclusivement par des bobines inductives : ce qui a pour conséquence que la dissipation d'énergie dans les appareils mêmes peut être réduite de façon que l'on puisse considérer sa valeur comme négligeable dans la pratique.

» Il résulte des considérations exposées que le courant i' (*fig. 5*), qui parcourt la bobine voltmétrique du compteur I, est décalé de 180° par rapport au courant I'' qui parcourt la bobine ampèremétrique du compteur II; il résulte aussi que le courant i'' , qui parcourt la bobine voltmétrique du compteur II, se trouve en phase avec le courant I' qui parcourt la bobine ampèremétrique du compteur I.

» J'utilise précisément ces deux courants i' et i'' afin d'obtenir qu'ils produisent dans les deux appareils respectivement deux flux d'induction ayant une action magnétique constante, indépendamment de la valeur de l'intensité du courant fourni aux appareils récepteurs. Les effets de ces flux sur les équipages mobiles des deux compteurs se superposent respectivement aux effets des flux d'induction magnétique produits par les deux courants qui circulent dans les bobines ampèremétriques des compteurs mêmes.

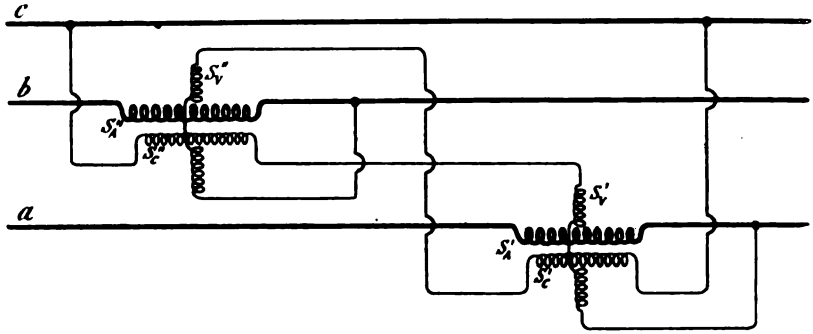
» J'obtiens ce résultat en faisant traverser par les courants i' et i'' respectivement deux petites bobines S'_c et S''_c (*fig. 8, 9, 10*) comprenant un petit nombre de spires de fil fin, disposées parallèlement et enroulées d'une façon convenable par rapport aux bobines ampèremétriques S'_A et S''_A des deux appareils.

» Les deux petites bobines S'_c et S''_c fonctionnent comme *bobines compensatrices* des deux compteurs, et elles ont pour but d'éliminer, ou au moins de diminuer considérablement, l'erreur due aux résistances de frottement des appareils. Les deux bobines S'_c et S''_c susdites seront par conséquent insérées en série respectivement avec

triphasée (dont on dispose dans le laboratoire où l'on fait les essais) par un groupement de lampes à incandescence; et de varier par tâtonnements le nombre desdites lampes dans les trois phases du système, jusqu'à ce que les indications des deux wattmètres de précision (se trouvant respectivement dans les mêmes conditions d'insertion des deux compteurs que l'on veut régler) soient réduites à zéro.

les deux bobines voltométriques S'_V et S'_V (fig. 8, 9, 10); et précisément la bobine compensatrice S'_C du compteur I se trouvera en série avec la bobine voltométrique S'_V du compteur II et la bobine

Fig. 8.

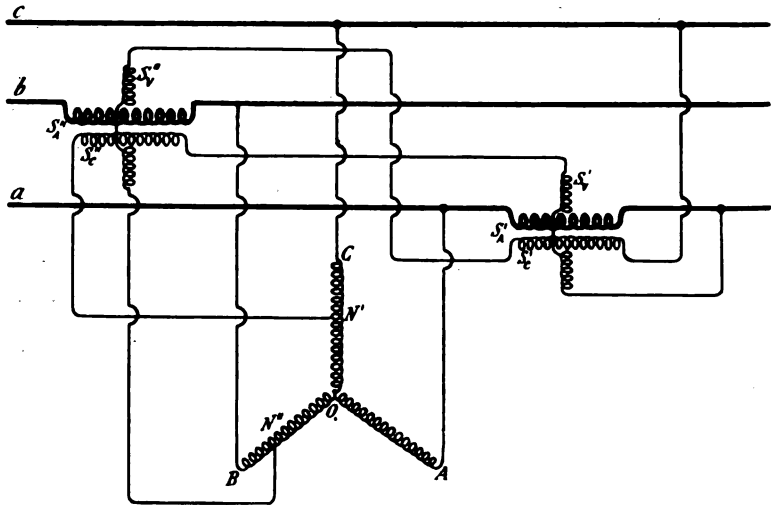


compensatrice S'_C du compteur II se trouvera en série avec la bobine voltométrique S'_V du compteur I.

» L'importance pratique de la disposition spéciale décrite résulte des considérations suivantes :

» 1° On ne doit employer aucune résistance ohmique ou induc-

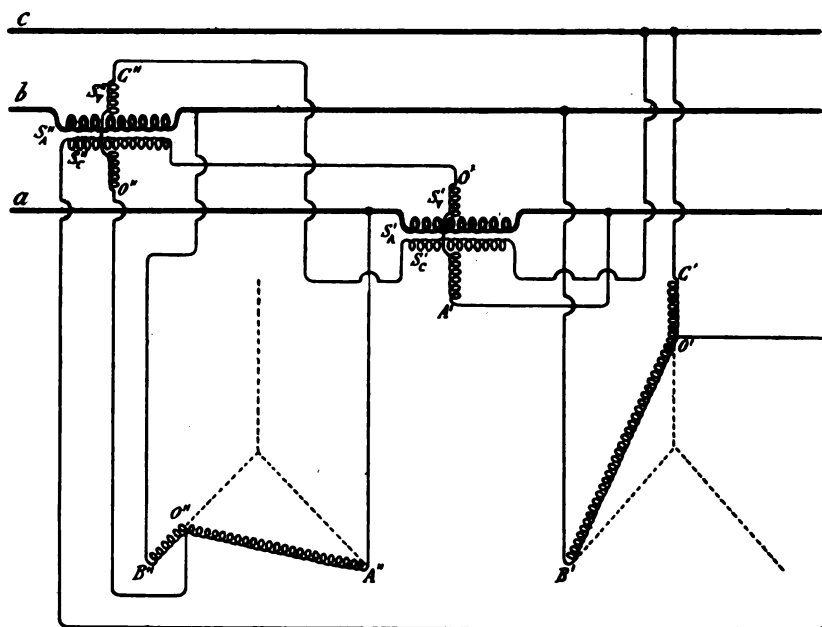
Fig. 9.



tive spéciale afin d'insérer dans leur circuit respectif les deux bobines compensatrices, car elles sont respectivement insérées en série avec les deux bobines voltométriques des compteurs.

» 2° Les deux courants i' et i'' , qui parcourent respectivement le circuit de la bobine voltométrique S'_v et de la bobine compensatrice S'_c et le circuit de la bobine voltométrique S''_v et de la bobine compensatrice S''_c , sont décalés d'un angle très peu différent de 90°

Fig. 10.



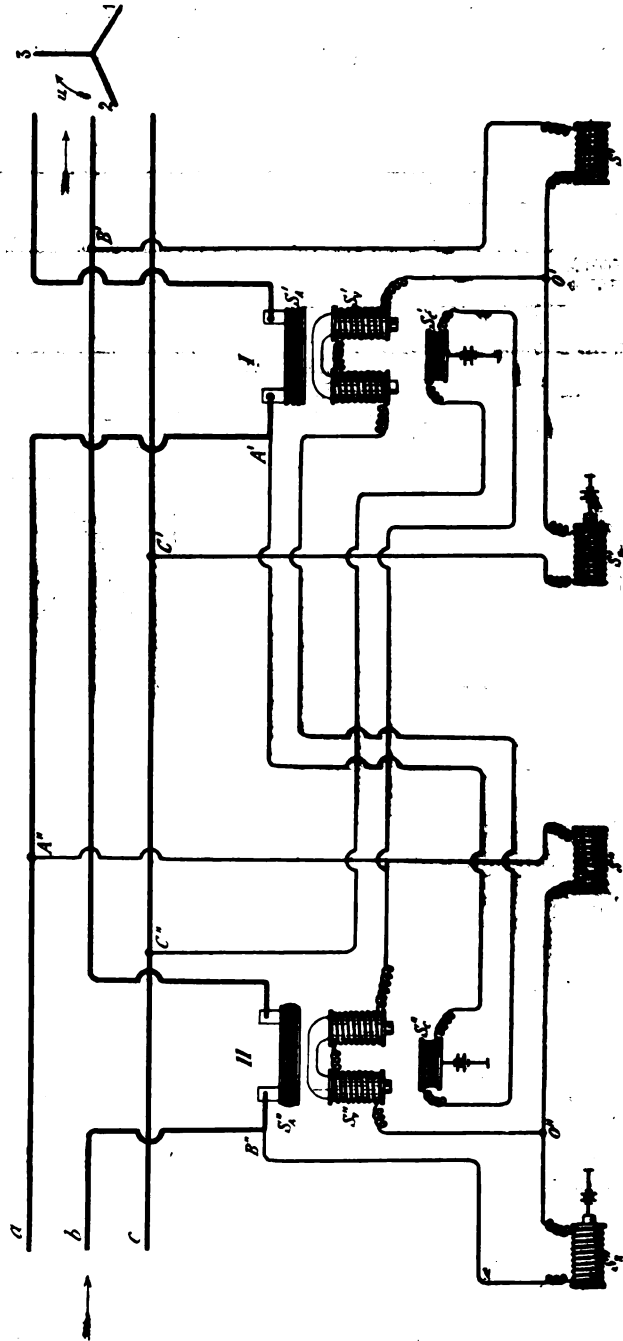
par rapport aux différences de potentiel qui existent respectivement entre les extrémités desdits circuits, de façon que la dissipation d'énergie dans les circuits mêmes est pratiquement négligeable.

» Dans la figure 11 sont schématiquement représentés, par leurs bobines ampèremétriques S'_A , S''_A respectives et leurs bobines voltétriques S'_v , S''_v , les deux compteurs I et II, insérés dans le système triphasé abc .

» En S'_c , S''_c sont respectivement représentées les deux bobines compensatrices; en S'_R , S''_R les deux bobines de régulation; et enfin en S'_T , S''_T les troisièmes bobines appartenant aux deux groupements triphasés.

» Il y a encore à observer, ce qui est très important pour la pratique, que les dimensions des troisièmes bobines S'_T et S''_T (fig. 11) n'ont pas absolument besoin d'être les mêmes que celles des bobines voltétriques S'_v et S''_v , comme il a été indiqué dans les diagrammes

Fig. 11.



de la figure 7 et comme on a supposé jusqu'à présent, pour rendre plus claire et plus facile la description du nouveau système de régulation. Dans la pratique, les dimensions des bobines S' , S'' , et conséquemment des bobines de régulation S'_R , S''_R , pourront donc être très réduites par rapport aux dimensions des bobines voltméttriques (*fig. 11*) : ce qui a pour conséquence d'en diminuer notablement le prix de revient, jusqu'à le rendre pratiquement sans aucune importance.

» Dans le Tableau sont indiqués les résultats des essais faits dans mon Laboratoire (1) sur les deux compteurs. On voit que, dans tous les cas, soit avec charge non inductive, soit avec charge inductive, l'erreur maxima est inférieure à 1 pour 100, et que, par conséquent, elle représente exclusivement l'erreur de lecture.

» J'ai fini, Messieurs, cette Communication sur mon procédé pour la mesure exacte de l'énergie dans les systèmes triphasés; et j'aime à espérer qu'elle ne sera pas tout à fait inféconde. En tous cas, mon ambition d'homme d'études est déjà plus que satisfaite par l'honneur que j'ai de me trouver pour la seconde fois au milieu d'une assemblée, composée des personnages les plus éminents du monde scientifique, pour y discuter avec sa haute autorité tous les arguments touchant la science de l'Électricité.

» La France et l'Italie, étroitement unies par des liens d'origine, de tradition et d'amitié, resteront à jamais les deux sœurs qui s'efforceront de porter haut le flambeau des sciences, et partant de la civilisation, chez tous les peuples.

» Quant à moi, je serais bien flatté et heureux, si je pouvais jeter sur le sol scientifique si fécond de la noble et généreuse France, une toute petite semence, pour qu'elle y pût germer et fleurir.

» Messieurs, il ne me reste qu'à vous remercier de la courtoise et précieuse attention que vous avez bien voulu prêter à ma lecture, et je vous prie d'être bien persuadés que j'en conserverai le meilleur souvenir. »

(1) Institut technique supérieur de Milan; Institution électrotechnique Carlo Erba.
Les essais ont été faits avec la collaboration des Ingénieurs, MM. Comboni et Polacco, auxquels je désire présenter ici tous mes remerciements.

COMPTEUR I.

	Charge.	Am- pères.	Volts.	Watts.		Volts- am- pères.	Tours.	Se- condes.	Compteur.		Moteur.		Constante.	
									cos φ.	φ.	Ψ.	cos Ψ.		
Charge non inductive.	72 lampes par phase.	38,5	162	{ 5335 5400 }	5367	6237	{ 50 50 }	{ 69,6 68,8 }	0,86	30°	0	1	{ 7391 7366 }	7393
	36 lampes par phase.	20,5	162	{ 2887 2867,5 }	2877	3321	{ 30 30 }	{ 76,5 76,7 }	0,87	30°	0	1	{ 7363 7331 }	7347
	12 lampes par phase.	7	165	{ 1017,7 1007,5 }	1013	1155	{ 10 10 }	{ 72,5 72,3 }	0,87	30°	0	1	{ 7386 7355 }	7370
	6 lampes par phase.	3,7	162	{ 522,5 525 }	524	600	{ 3 3 }	{ 42,3 42,3 }	0,87	30°	0	1	{ 7367 7402 }	7384
	Moteur et dynamo avec 72 lampes.	33,2	165	{ 3000 3001,5 }	3001	5544	{ 40 40 }	{ 98,6 98,4 }	0,548	56° 50'	26° 50'	0,89	{ 7387 7383 }	7385
Charge inductive.	Moteur et dynamo avec 36 lampes.	20,7	165	{ 1834 1831 }	1833	3415	{ 20 20 }	{ 80,8 80,7 }	0,537	57° 30'	27° 30'	0,89	{ 7343 7388 }	7365
	Moteur et dynamo avec 12 lampes.	13	165	{ 798,5 804,5 }	801	2145	{ 10 10 }	{ 92,8 92,2 }	0,374	68°	38°	0,79	{ 7410 7417 }	7413
	Moteur avec dynamo excitée à vide.	10,5	165	{ 322,5 308,7 }	316	1732	{ 3 3 }	{ 71,6 71,9 }	0,182	79° 30'	49° 30'	0,65	{ 7363 7398 }	7380
	Moteur avec dynamo et 72 lampes.	33	165	{ 2959 2992 }	2975	5445	{ 40 40 }	{ 99,4 98,5 }	0,547	56° 50'	26° 50'	0,89	{ 7353 7367 }	7363

Constante
moyenne
7350
Erreur
pour la
maxim
46
7380

Constante
moyenne
7373
Erreur
pour la
maxim
50
7373

COMPTEUR II.

Charge non inductive.	72 lampes par phase.	39	165	{ 5679 5652 }	5665	6435	{ 40 40 }	{ 52,5 52,5 }	0,97	30°	0	1	{ 7390 7354 }	7372
	36 lampes par phase.	21	165	{ 2977 3066 }	3021	3465	{ 20 20 }	{ 49,3 48,9 }	0,87	30°	0	1	{ 7338 7349 }	7343
	12 lampes par phase.	7	165	{ 1009 1015 }	1012	1155	{ 10 10 }	{ 73,1 72,4 }	0,87	30°	0	1	{ 7375 7348 }	7361
Charge inductive.	Moteur et dynamo avec 72 lampes.	30,4	163	{ 4970 4930 }	4950	4955	{ 40 40 }	{ 59,1 59,6 }	0,999	2°	28°	0,88	{ 7343 7345 }	7344
	Moteur et dynamo avec 36 lampes.	20,6	163	{ 3330 3345 }	3337	3358	{ 20 20 }	{ 44,7 43,7 }	0,999	2°	28°	0,88	{ 7337 7309 }	7323
	Moteur et dynamo avec 12 lampes.	13,6	163	{ 2161 2161 }	2161	2217	{ 10 20 }	{ 34,2 67,8 }	0,975	13°	43°	0,73	{ 7392 7366 }	7379
	Moteur avec dynamo excitée à vide.	11	163	{ 1618 1613,5 }	1616	1793	{ 10 10 }	{ 45,3 45 }	0,901	26°	56°	0,56	{ 7329 7360 }	7344
	Moteur avec dynamo et 72 lampes.	29,6	163	{ 4824 4823 }	4823	4825	{ 40 40 }	{ 61,3 61,3 }	0,999	2°	28°	0,88	{ 7393 7390 }	7391

Constante
moyenne
7350
Erreur
pour la
maxim
29
7350

Constante
moyenne
7350
Erreur
pour la
maxim
68
7356

M. le PRÉSIDENT. — « Je remercie M. Riccardo Arno de la Communication qu'il a bien voulu nous faire et des paroles flatteuses dont il l'a fait suivre. Je le prie, au nom de la Société, de dire à nos confrères d'Italie que nous serons toujours heureux des occasions qui permettront de rapprocher les électriciens italiens des électriciens français. » (*Applaudissements.*)

PERMÉAMÈTRE UNIVERSEL.

M. PICOU. — « Messieurs, j'ai eu l'honneur de vous présenter, au mois de juin dernier, l'essai d'une méthode générale de prédétermination des conditions de fonctionnement des machines dynamo-électriques. Cette méthode ne nécessite que deux choses : le dessin géométrique de la machine, la connaissance parfaite du fer employé dans sa construction.

» La Communication de ce soir porte sur le résultat de mes recherches dans le but de faciliter la connaissance des propriétés du fer. C'est un *perméamètre* que j'ai l'honneur de vous présenter ; son qualificatif d'*universel* est dû à ce que, le premier de son espèce, je crois, il se prête aussi facilement à la mesure des tôles, des barrettes ou même, à la rigueur, des fils bien dressés.

» Dans une séance précédente, M. Armagnat vous a entretenu des difficultés auxquelles donnent lieu les perméamètres courants, et qui, toutes, sont dues au *joint* entre la pièce d'épreuve et les culasses magnétiques.

» Ce joint introduit un entrefer qui peut être très faible si l'ajustage mécanique des bouts est parfait ; mais sa valeur dans la mesure, évaluée en longueur équivalente de fer, s'obtient en multipliant la longueur vraie par la valeur de la perméabilité. Celle-ci atteignant facilement 2000 dans le fer doux, on voit que deux joints de 0^{mm},01 chacun équivaldront à 40^{mm} de fer, c'est-à-dire à une erreur possible d'environ 20 pour 100 sur la mesure.

» Si l'on se propose, comme c'était mon but, de mesurer surtout des tôles, le dressage du joint n'apparaît plus possible avec une chance d'approximation quelconque, et aucun des appareils antérieurs n'était approprié à ces mesures.

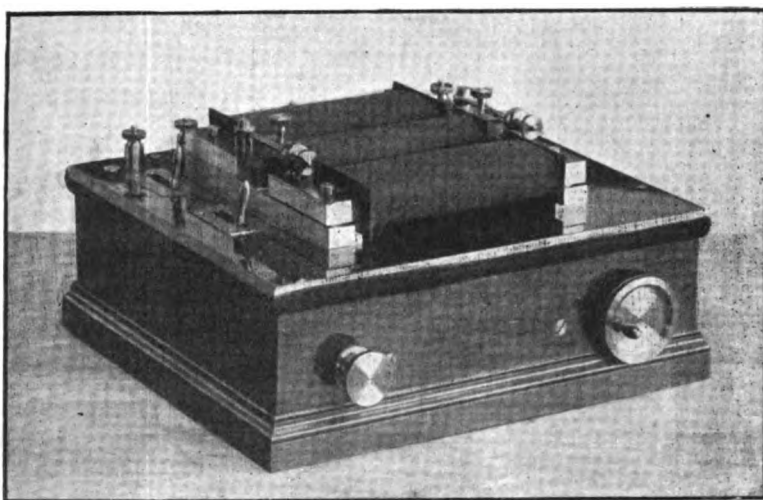
» Je n'ai qu'à rappeler ici la méthode des *tores*, la seule usitée jusqu'ici, dont l'exactitude ne laisse rien à désirer, mais dans laquelle la préparation et le bobinage de l'échantillon constituent une opération très longue et assez délicate.

» Il s'agissait donc de réaliser un appareil se rapprochant des perméamètres antérieurs par l'emploi d'échantillons droits, de préparation facile, mais en même temps qui fût affranchi des causes d'erreurs des joints.

» Voici le principe de celui qui est sous vos yeux (*fig. 1 et 2*).

» Deux culasses en forme de fer à cheval B_1 et B_2 enserrant entre

Fig. 1.



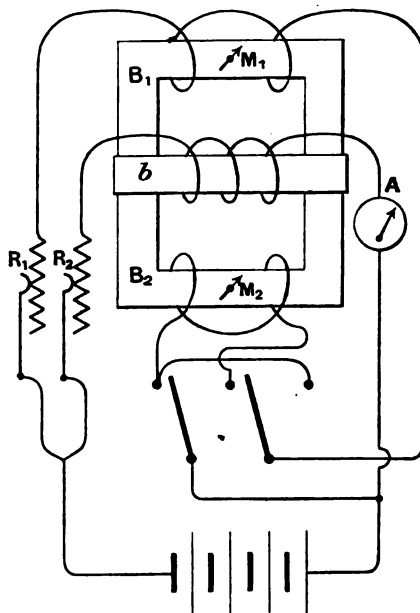
elles l'échantillon b , qui peut être une barrette ou un empilage de tôles. Chacune des culasses porte une bobine magnétisante; l'échantillon en porte une autre. Les circuits de ces bobines peuvent être combinés de différentes manières.

» Supposons d'abord qu'on envoie le courant dans B_1 et B_2 seulement, mais dans un sens tel que le flux créé dans l'une des culasses soit concourant avec celui de l'autre. Rien ne passera dans la barrette en essai dont les deux bouts sont au même potentiel magnétique.

» Mais le flux traversera *tous les joints*, et, transversalement, les bouts de l'échantillon. La connaissance de la force magnétomotrice dépensée ainsi dans B_1 et B_2 n'est pas utile; aussi ce circuit électrique ne comprend-il aucun ampèremètre. Mais le flux créé doit être repéré et mesuré, et nous le supposerons pour un instant obtenu au moyen de petits magnétomètres M_1 et M_2 insérés dans une coupure des culasses. Soit Φ la valeur de ce flux.

» Maintenant, nous inversons le courant magnétisant de la bobine B_2 seulement. Les flux créés par B_1 et B_2 sont alors opposés, et se ferment entièrement par l'échantillon. Le flux Φ s'est ainsi affaibli par l'introduction dans le circuit de la réluctance de b . Pour le ramener à sa valeur primitive, il suffit de lancer un courant de sens convenable dans la bobine b . La mesure de ce courant, par

Fig. 2.



l'ampèremètre A , fait connaître la force magnétomotrice correspondante. Or, c'est précisément celle qui correspond à l'aimantation de l'échantillon b seul, abstraction faite de tout joint et des culasses.

» La démonstration en est aussi simple qu'immédiate. Appelant :
 F la force magnétomotrice sur une culasse;
 f celle sur l'échantillon b ;
 R la réluctance d'une des culasses, y compris les joints correspondants;
 r celle de l'échantillon seul.

» La première expérience donne :

$$\Phi 2R = F.$$

» La seconde :

$$\Phi 2R + 2\Phi r = F + f.$$

» D'où, par différence,

$$2\Phi r = f.$$

Φ étant connu, on en déduit μ d'après la section S de l'échantillon ; f égale $\mathcal{K}l$; on en déduit immédiatement μ , perméabilité, dès que la longueur l est connue.

» Dans l'instrument qui est sous vos yeux, vous retrouvez tous les organes que je viens de signaler, sauf les magnétomètres de mesure de flux. Après essais, on est revenu à la méthode balistique pour cet objet.

» Mais on sait que les mesures balistiques sont assez lentes. D'autre part, pour reproduire par un réglage un flux donné avec la valeur antérieurement déterminée, il faudrait faire un grand nombre de lectures.

» Les difficultés pratiques qui auraient résulté de l'emploi du balistique, dans les conditions ordinaires (et par crainte desquelles le magnétomètre avait d'abord été essayé), ont été très habilement surmontées grâce à l'emploi d'un artifice imaginé par M. Armagnat, au cours de l'étude de l'appareil, et que je vais décrire.

» Chacune des branches B_1 , B_2 , C, du circuit magnétique complexe a reçu un bobinage secondaire, destiné aux mesures balistiques. La première opération consiste à repérer le flux créé dans B_1 et B_2 par des forces magnétomotrices concourantes. Je dis *repérer* et non *mesurer*, car il suffit de reproduire ultérieurement ce flux sans s'occuper de sa valeur absolue. C'est celui de b qu'il importera de mesurer ultérieurement.

» M. Armagnat a imaginé d'opposer à ce flux celui d'un transformateur T (*fig. 3*) dont le coefficient de transformation peut varier par un réglage à la main. La mesure est ainsi ramenée à une méthode de zéro ; et, si l'on commande par un commutateur tournant les opérations successives de magnétisation et de décharge, le réglage se fait avec une grande facilité.

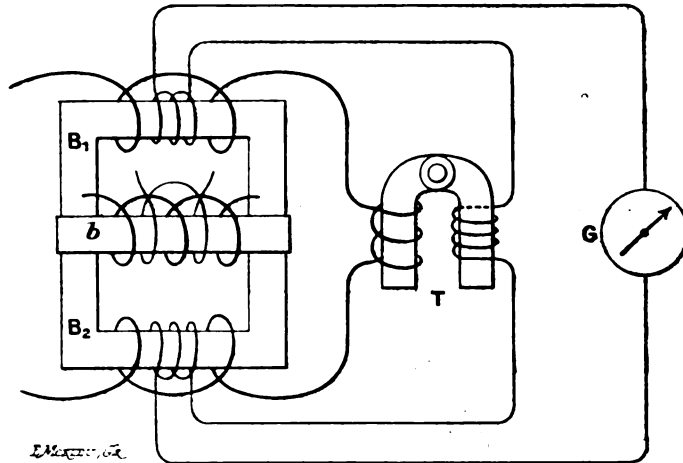
» Une fois qu'il est obtenu, le transformateur se trouve avoir repéré la valeur du flux à reproduire.

» On peut alors passer à la seconde phase de la mesure, l'inversion du courant magnétisant dans l'une des culasses. Ceci affaiblit le flux ; mais, comme je l'ai exposé plus haut, on le rétablit à la

valeur antérieure par l'envoi d'une force magnétisante H autour de b . On lit cette force.

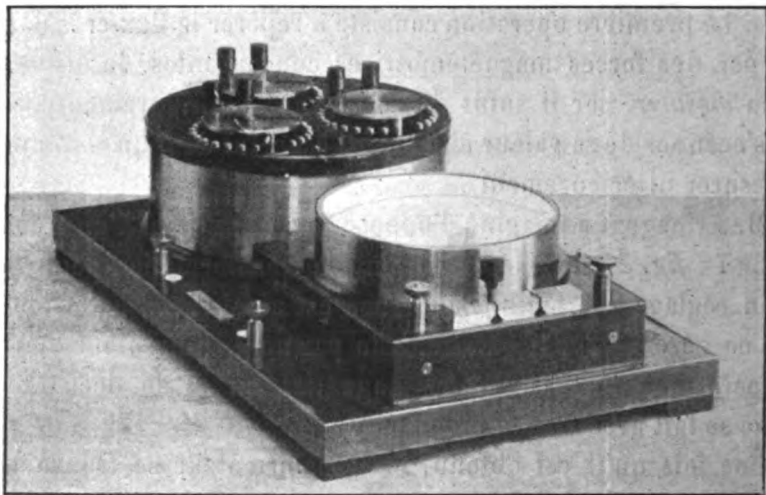
» Il faut maintenant connaître le flux dans l'échantillon b . A cet

Fig. 3.



effet, un commutateur spécial relié au balistique coupe de son cir-

Fig. 4.

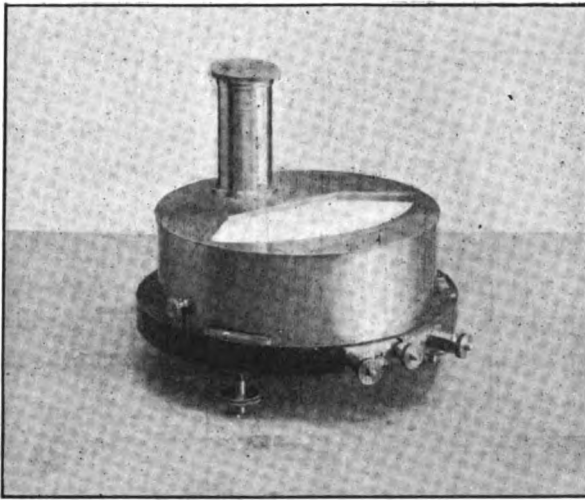


cuit les bobines secondaires de B_1 et B_2 , et y substitue celle de b . Un seul mouvement du commutateur tournant donne alors la décharge, et l'impulsion balistique donne la mesure du flux.

» Le galvanomètre a été, bien entendu, étalonné au préalable. Pour rendre cet étalonnage indépendant de la position respective des appareils, et en même temps simplifier l'installation, on a supprimé l'emploi de l'index lumineux, et la maison Carpentier a construit spécialement le galvanomètre balistique à aiguille qui fonctionne ici (*fig. 5*). Mais il est évident qu'on peut toujours employer un balistique quelconque.

» Les résultats obtenus au moyen de cet appareil ont donné

Fig. 5.



toute satisfaction. La représentation des mesures sous la forme $\lambda = f(\mathcal{K})$ ou $f(\mathfrak{V})$ met en évidence les erreurs systématiques, beaucoup mieux que la représentation classique $\mathfrak{V} = f(\mathcal{K})$.

» Appliquée à ces résultats, elle a montré que l'instrument est bien exact et réellement indépendant de la perfection des joints. Un empilage de tôles, dressé par l'ajusteur le moins habile, donne des lectures qui se groupent bien sur leur courbe moyenne. Le même paquet, sorti de l'appareil, démonté, manié, remonté et réessayé, donne des lectures qui se replacent également bien sur *la même* courbe. C'est le meilleur criterium de la valeur des mesures.

» Je ne saurais terminer mieux cet exposé qu'en adressant tous mes remerciements à la maison Carpentier, qui a construit cet

instrument avec son habileté coutumière, et, en particulier, à M. Armagnat, qui, par ses études patientes et dévouées et l'apport personnel de la méthode de repérage du flux, a contribué pour une grande part à la réalisation pratique de l'idée première et à la création d'un instrument vraiment industriel. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Picou.

**SUR LES ACIERS DOUX EMPLOYÉS DANS LA CONSTRUCTION
DES MACHINES ÉLECTRIQUES.**

M. GEORGES CHARPY. — « La présente Note n'a d'autre prétention que de résumer brièvement les moyens d'investigation auxquels le métallurgiste peut avoir recours pour chercher à progresser dans l'étude si complexe des propriétés électriques et magnétiques des aciers.

» Beaucoup de problèmes qui se présentent en métallurgie se ramènent à chercher les relations qui existent entre les qualités qui définissent l'état d'un métal, qualités sur lesquelles on peut agir en variant les procédés d'élaboration et de transformation de celui-ci, et certaines propriétés que l'on se propose d'utiliser; dans le cas qui nous occupe, ces propriétés seront la résistivité, la perméabilité magnétique, le coefficient d'hystérésis.

» L'étude de ces relations entre l'état d'un métal et ses propriétés a été longtemps purement empirique. Dans ces dernières années, elle s'est systématisée au point de constituer un embryon de science spéciale, à laquelle on a donné le nom de *métallographie*.

» L'un des points les plus importants qui aient été mis en évidence par les études métallographiques est la structure hétérogène des métaux. Les métaux industriels ne sont jamais purs; les éléments qui y sont mélangés, soit intentionnellement, soit par suite de nécessités de fabrication, se groupent entre eux et se juxtaposent de façons variables, suivant qu'ils existent en proportions plus ou moins grandes et que le métal a été soumis à différents traitements thermiques ou mécaniques. Pour définir l'état d'un métal, il faut donc non seulement connaître la nature et la quantité des éléments qui le constituent, mais encore savoir comment ces éléments se sont combinés chimiquement et comment les constituants ainsi formés se sont développés et groupés géométriquement.

» Les procédés auxquels on a recours pour étudier de cette façon la constitution des métaux sont très variés; le plus direct, et celui qui, s'il n'est pas le plus parfait, se prête le mieux à un exposé ra-

pide, est l'étude microscopique. En examinant au microscope des fragments de métaux polis, convenablement préparés, on y distingue facilement les divers constituants et l'on peut suivre leurs transformations.

» On peut constater ainsi, entre autres choses, que :

» 1° Des métaux de compositions élémentaires identiques peuvent contenir des groupements chimiques très différents. La fonte de fer en est un des exemples les plus importants et les plus simples. On sait qu'une fonte peut contenir une même quantité de carbone, soit à l'état de carbure de fer, Fe_3C (fonte blanche), soit à l'état de graphite (fonte grise), et présente dans les deux cas des propriétés très différentes.

» 2° Des éléments miscibles en toutes proportions peuvent se combiner différemment suivant que l'un ou l'autre domine. Tel est le cas des alliages de fer et d'antimoine dont les propriétés magnétiques ont été soigneusement étudiées il y a quelques années par M. Pierre Weiss. Ces deux corps peuvent se combiner pour former un composé chimique défini, un antimoniure de fer. Il en résulte qu'il y a deux catégories bien distinctes d'alliages; les plus riches en antimoine sont en réalité des alliages d'antimoine et d'antimoniure de fer; leur susceptibilité magnétique varie avec la composition, mais reste toujours extrêmement faible; les plus riches en fer sont au contraire des alliages de fer et d'antimoniure de fer; leur susceptibilité magnétique augmente très rapidement avec la teneur en fer.

» 3° Le traitement thermique peut modifier notablement la répartition chimique et géométrique des constituants. Les faits les plus importants de ce genre sont les phénomènes de cristallisation par recuit, très nets dans le cuivre et la plupart de ses alliages, et les phénomènes de trempe qui détruisent souvent les cristallisations et peuvent maintenir certains éléments à l'état de solution solide.

» 4° Enfin, les différentes déformations mécaniques produisent naturellement des déformations et même des ruptures des constituants élémentaires.

» Considérons plus spécialement le cas de l'acier. Un acier pur, formé à peu près exclusivement de fer et de carbone, recuit à haute température (900°) et refroidi lentement, se compose de grains de

fer probablement pur (*ferrite*) entourés d'un constituant qu'on appelle la *perlite* et qui est formé par des lamelles entrelacées de fer et de carbure de fer (*ferrite et cémentite*). La perlite, qui contient tout le carbone du métal, est naturellement en proportion d'autant plus forte que le métal est plus carburé. Elle constitue à peu près seule le métal à 0,9 pour 100 de carbone; elle n'existe qu'à l'état de traces, formant les joints des grains de ferrite dans les aciers extra-doux à très faible teneur en carbone. Voyons comment cette structure est modifiée par les principales causes qui peuvent intervenir, savoir : *a*, l'introduction dans l'acier de substances autres que le fer et le carbone; *b*, le traitement calorifique et *c*, le traitement mécanique.

» *a*. Les éléments autres que le fer et le carbone que l'on peut introduire dans l'acier, soit en vue d'en faciliter l'élaboration, soit en vue d'en modifier certaines propriétés, peuvent se diviser en deux groupes : les uns se mélangent intimement au fer, de façon à former une solution solide sous forme de grains parfaitement homogènes et identiques en apparence aux grains de ferrite, mais ayant des propriétés très différentes. Tels sont le nickel, le silicium, l'aluminium. D'autres éléments formeront, soit avec le fer, soit avec le carbone, des composés non miscibles au fer, qui se localiseront entre les grains comme la perlite. Le soufre, par exemple, se sépare entièrement sous forme de sulfure de fer; le chrome, le tungstène se combinent avec le carbone pour former des carbures doubles qui se localisent dans la perlite.

» Il y a, bien entendu, des éléments qui se répartissent entre le fer et le carbone, surtout quand leur proportion dépasse une certaine valeur.

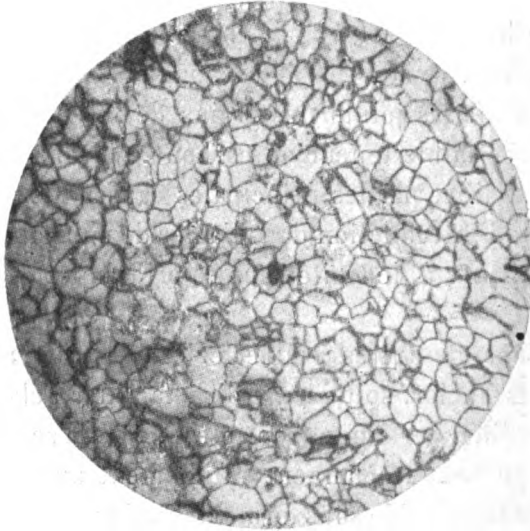
» Dans tous les cas, l'aspect microscopique n'est pas très notablement modifié, et c'est par d'autres procédés qu'il faut déterminer le mode de répartition des éléments.

» *b*. Les traitements calorifiques appliqués aux aciers doux se réduisent généralement à des recuits plus ou moins prolongés, à températures plus ou moins élevées, suivis d'un refroidissement plus ou moins rapide. Ces différentes circonstances peuvent modifier notablement le développement des grains de fer.

» Les aciers doux chauffés à une température élevée (950° et au-

dessus) et refroidis brusquement présentent en général des grains très petits (*fig. 1*). Quand on maintient ces métaux un temps suffi-

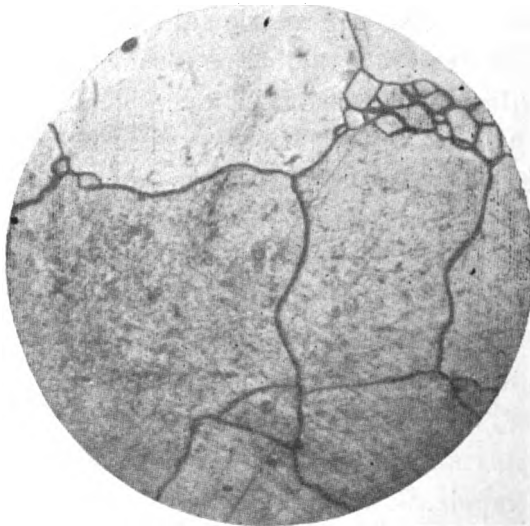
Fig. 1.



N° 1. — Acier doux trempé. Gr. = 250 diamètres. Grain fin.

sant à des températures plus basses, de préférence voisines de 800°,

Fig. 2.

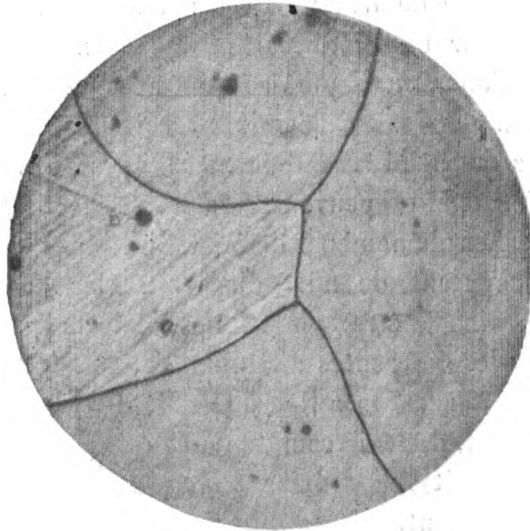


N° 2. — Acier doux recuit. Gr. = 250 diamètres. Gros grain. Les grains fins n'ont pas encore complètement disparu.

les grains de fer se développent graduellement et peuvent atteindre des dimensions considérables (*fig. 2*).

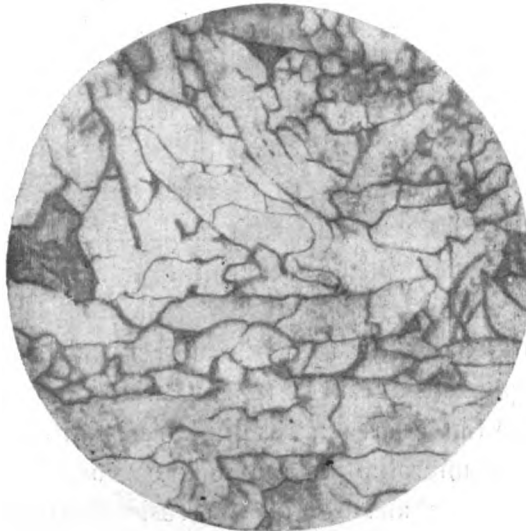
» Il faut signaler que la présence de certains éléments peut

Fig. 3



N° 3. — Acier doux au silicium. Gr. = 250 diamètres. Grains très développés.

Fig. 4.



N° 4. — Acier doux écroui. Gr. = 250 diamètres. Grains déformés et brisés.

modifier notablement ces phénomènes de cristallisation. Ainsi, le

nickel tend à donner à l'acier ~~une~~ texture à grains fins; le silicium et l'aluminium, au contraire, facilitent considérablement la cristallisation de la ferrite (*fig. 3*). Ces modifications de grains sont assez fortes pour être nettement visibles sur la cassure des métaux, sans qu'il soit besoin de recourir au microscope.

» c. Enfin, toute déformation permanente du métal se traduit, naturellement, par une déformation des grains élémentaires. La déformation qu'on aura le plus souvent à considérer sera l'allongement dans un sens soit par laminage, soit par forgeage, soit par tréfilage. Dans un métal ainsi déformé, les grains s'allongent dans le sens de l'étirage et peuvent même se briser en grains plus petits (*fig. 4*). Les phénomènes de cristallisation par recuit signalés plus haut permettent de faire disparaître les déformations, de ramener les grains à être symétriques et le métal sensiblement identique dans les différentes directions.

» Quand la déformation a lieu à chaud, il y a lieu, comme on le conçoit facilement, de tenir compte de ce que les effets de la déformation et du recuit se produisent simultanément et peuvent se détruire mutuellement.

» Examinons maintenant les conséquences qui peuvent être déduites des considérations que l'on vient d'exposer au point de vue des propriétés des aciers doux, qui sont plus particulièrement intéressantes au point de vue de la conduction électrique, c'est-à-dire la résistivité, la perméabilité magnétique et la perte d'énergie par hystérésis.

» La conductibilité électrique d'un métal paraît être une propriété additive, c'est-à-dire que chaque constituant intervient avec sa résistance propre et que la conductibilité totale est la somme des conductibilités partielles.

» Dans le cas de l'acier au carbone recuit, la résistivité devra donc être proportionnelle à la teneur en carbone. C'est ce qu'a trouvé M. H. Le Chatelier, d'après qui la résistivité de l'acier recuit augmente de 1,5 microhm par atome de carbone ajouté à 100^{at} de fer. Il déduit de ses mesures que la résistance spécifique de la ferrite est 9^u,5 et celle de la cémentite de 45^u.

» Parmi les corps autres que le carbone, ceux qui ne se mélangent pas au fer interviennent de la même façon que le carbone; s'ils

sont en petite quantité, ils n'auront donc pas, en général, une influence très marquée; il n'en est pas de même des corps qui se dissolvent dans la ferrite, et dont l'action est extrêmement intense. D'après M. Carl Benedicks, un atome d'un corps dissous augmenterait la résistivité d'une quantité constante et voisine de 7^e, 5.

» Si l'on compte la proportion pour 100 de chaque élément, on doit donc obtenir la plus grande augmentation de résistance avec les éléments à faible poids atomique, tels que l'aluminium ou le silicium. C'est ce que vérifient les expériences récentes de MM. Barrett, Brown et Hadfield auxquels nous empruntons le Tableau suivant qui donne l'augmentation de résistance produite par un accroissement de 1 pour 100 de la teneur de différents éléments, dans un acier qui en contient déjà 4 pour 100.

Nom de l'élément.	Poids atomique.	Augmentation de résistance.
Tungstène.....	184	1, 1
Cobalt.....	59	2, 2
Nickel.....	59	2, 5
Chrome.....	52	3, 0
Manganèse.....	55	5, 2
Silicium.....	28	10, 3
Aluminium.....	27	11, 1

» La cristallisation par recuit et l'écrouissage, lorsque ce dernier n'est pas poussé au point de provoquer des ruptures internes, ne modifiant pas les proportions relatives de ferrite et de perlite, ne changent pas sensiblement la résistance électrique. La trempe, qui peut maintenir à l'état dissous une certaine quantité de carbone, détermine une augmentation de résistance.

» En ce qui concerne les propriétés magnétiques, il est certain que la répartition du magnétisme dans un agrégat de matériaux différents, comme la ferrite et la perlite, doit être assez complexe et mériterait une étude spéciale. On aura une première approximation en admettant que les grains de ferrite, beaucoup plus perméables que la perlite qui les entoure, se comportent à peu près comme des aimants isolés dans un milieu magnétique.

» La perlite doit donc agir, au point de vue de la perméabilité, comme les joints dans un circuit magnétique discontinu. La perméabilité totale sera, par suite, d'autant plus grande, toutes choses égales d'ailleurs, qu'il y aura dans le métal une plus faible proportion de carbone et, en général, d'éléments non dissous. C'est ainsi qu'on a été amené à employer, quand on recherche une grande perméabilité, des fers aussi purs que possible.

» En ce qui concerne les corps qui se dissolvent dans le fer, l'effet est moins uniforme. Si la plupart paraissent diminuer notablement la perméabilité comme le nickel et le manganèse qui, en proportion suffisante, peuvent former des aciers pratiquement non magnétiques, certains éléments, tels que le silicium et l'aluminium, ne la diminuent certainement pas; ils paraissent même l'augmenter, mais il pourrait se faire que ce soit d'une façon indirecte, en faisant varier la composition de la perlite et diminuant, par suite, l'épaisseur des joints.

» En ce qui concerne la perte par hystérésis, on est ramené tout naturellement, par l'étude de la constitution de l'acier, à l'hypothèse du professeur Ewing. On sait que le professeur Ewing a proposé de considérer les corps magnétiques comme formés d'une infinité de petits aimants moléculaires; qu'il attribue, aux réactions mutuelles de ces petits aimants, la perte d'énergie par hystérésis, et que d'ingénieuses dispositions expérimentales ont paru justifier sa manière de voir.

» D'après ce qui a été dit plus haut, il est naturel de substituer, aux aimants moléculaires hypothétiques d'Ewing, les aimants élémentaires formés par les grains de ferrite. On a ainsi l'avantage de raisonner, non plus sur des molécules, mais sur des grains dont on peut constater directement l'existence et déterminer les dimensions et l'orientation. Cette conception ne répond peut-être en aucune façon à la réalité, mais elle a l'avantage d'interpréter assez fidèlement les faits et notamment l'influence qu'ont, sur le coefficient d'hystérésis, la trempe, l'écrouissage et le recuit.

» Le travail absorbé par les réactions mutuelles d'aimants élémentaires est naturellement fonction de leur nombre. On doit donc s'attendre à ce que les métaux à grains fins aient un coefficient d'hystérésis bien supérieur à celui des mêmes métaux amenés à pré-

senter de gros grains par un recuit convenable. Or, c'est ce que l'expérience vérifie complètement. Le recuit qui améliore le plus les propriétés magnétiques de l'acier est précisément celui qui développe le plus la cristallisation.

» Nous avons vu plus haut que les phénomènes de cristallisation étaient accentués et régularisés par une addition de silicium à l'acier. Or les aciers au silicium présentent de très faibles coefficients d'hystérésis.

» L'écroutissage agit sur l'acier en brisant les grains et en les déformant; il doit donc augmenter toujours notablement le coefficient d'hystérésis. On conçoit de plus qu'il produise une variation différente suivant l'orientation, la perte de travail n'étant pas la même suivant que le champ magnétique est parallèle ou perpendiculaire aux grains allongés par l'écroutissage. On comprend, enfin, que les résultats obtenus aux différents points d'une même tôle, et suivant des orientations différentes, puissent présenter des différences notables, surtout si le recuit n'a pas été parfaitement uniforme, de sorte que certains points, sur les bords, ont été chauffés plus ou moins longtemps que d'autres.

» Les considérations que l'on vient de développer permettent donc de se rendre compte de la façon dont sont modifiées, par les circonstances qui peuvent se présenter dans la fabrication des aciers doux, la conductibilité électrique, la perméabilité et la perte par hystérésis. Elles ne donnent aucune interprétation d'un phénomène de la plus haute importance au point de vue pratique, le vieillissement que présentent certains aciers doux au point de vue de la perte par hystérésis. A défaut de théorie, on connaît du moins les lois générales de ce phénomène, qui n'est pas unique de son espèce, mais se rattache aux phénomènes de déplacement du zéro du thermomètre, aux modifications étudiées par M. André Le Chatelier sous le nom de *recuit spontané* des métaux, et par MM. Barus et Duhem sous le nom de *variations séculaires*. On sait, en particulier, que ces faux équilibres, qui se maintiennent très longtemps à la température ordinaire, sont détruits rapidement par chauffage, et mieux par une série d'échauffements et de refroidissements à des températures peu élevées. C'est le procédé suivi pour recuire les thermomètres dans lesquels on veut éviter le déplacement du zéro, et les règles suivant

lesquelles il convient d'opérer ont été minutieusement étudiées par MM. Guillaume et Marchis.

» Nous avons effectué, sur le vieillissement des tôles par chauffage entre 100° et 200°, une longue série d'essais comparatifs sur divers échantillons. Il en ressort nettement que certains échantillons vieillissent rapidement, alors que d'autres, placés exactement dans les mêmes conditions, ne se modifient pas d'une façon appréciable. Nous n'avons observé aucun caractère qui distinguât nettement ces deux catégories. Nous devons signaler, tout en étant les premiers à reconnaître qu'il peut n'y avoir là qu'une coïncidence, que, parmi les tôles que nous avons étudiées, celles qui n'ont pas vieilli étaient faites d'acier Martin, et celles qui ont vieilli étaient en acier Bessemer. Il faut remarquer aussi que les tôles qui vieillissent le plus présentent souvent, après un recuit convenable, un coefficient d'hystérésis particulièrement faible. Il était à craindre que les tôles au silicium et à l'aluminium, dont nous avons signalé à diverses reprises les remarquables propriétés, découvertes par MM. Barrett, Brown et Hadfield, ne donnassent lieu à cette observation. Nous avons vérifié qu'il n'en était rien; différents échantillons à l'aluminium et au silicium n'ont pas varié d'une façon appréciable après une longue série de recuits qui ont fait vieillir nettement certaines tôles d'acier doux.

» Voici quelques chiffres qui donnent la valeur du coefficient η de la formule de Steinmetz déterminée avec l'hystérésimètre Blondel.

A et B. Tôles d'acier extra-doux.

C. Tôles au silicium.

D. Tôles à l'aluminium.

		Après chauffage			
	État naturel.	à 100°	à 200°	à 250°	à 500°
		pendant 190 heures.	pendant 150 heures.	pendant 1 heure.	pendant 1 heure.
A.....	17,5	17,4	18,1	17,8	16,4
	15,5	15,5	16	15,5	14,8
	23,0	22,9	23,4	23,0	22,1
B.....	10,8	25,2	13,5	12,3	11,2
	14,8	22,6	17,8	16,8	15,2
	14,5	29,5	18,2	16,8	14,5
C.....	10,5	11,2	12	12	11,8
D.....	8,7	9	9,2	9,2	10
	9,5	9,5	9,0	10,2	9,5

» En résumé, pour les tôles d'acier doux ordinaire, il semble que les conditions à rechercher soient surtout une grande pureté et beaucoup de régularité et de précision dans le recuit. Les meilleurs résultats que l'on puisse obtenir avec ces métaux semblent souvent réalisés actuellement; on ne peut viser qu'un peu plus de régularité, et il semble même que, lorsqu'on atteint des coefficients exceptionnellement bas, le phénomène du vieillissement apparaît et crée une nouvelle et très sérieuse difficulté. Mais il y a lieu d'espérer beaucoup des aciers spéciaux qui ont à peine été étudiés et fournissent déjà des résultats remarquables. Les aciers au silicium et à l'aluminium, étudiés par MM. Barrett, Brown et Hadfield présentent une résistivité très élevée, une grande perméabilité et un coefficient d'hystérésis très faible. On pouvait craindre que ces résultats excellents fussent dus à la qualité d'échantillons spécialement préparés pour expériences et d'une pureté exceptionnelle. C'est pourquoi nous avons tenu à opérer sur des métaux préparés par grandes quantités et dans des conditions réellement industrielles (¹). Nous avons retrouvé des résultats un peu inférieurs à ceux de MM. Barrett, Brown et Hadfield, surtout au point de vue de la perméabilité, mais encore nettement supérieurs à ceux que fournissent les meilleures tôles d'acier doux. Aussi croyons-nous intéressant de signaler ces nouveaux métaux qui paraissent appelés à un grand avenir. »

M. le PRÉSIDENT. — « Nous sommes particulièrement reconnaissants à M. Charpy des renseignements précieux qu'il a bien voulu nous apporter. Ces renseignements viennent bien à propos pour répondre à nos préoccupations touchant les qualités des tôles employées dans les machines électriques.

M. KORDA. — « Y a-t-il une relation entre le vieillissement des tôles et leur teneur en carbone pouvant entraver la cristallisation du fer malgré la faible teneur, et celles qui vieillissent n'isolent-elles pas du carbone sous forme de graphite? »

(¹) Ces essais de fabrication ont été faits aux Forges Saint-Jacques, à Montluçon (Compagnie des Forges de Châtillon, Commentry et Neuves-Maisons).

M. CHARPY. — « La séparation du carbone sous forme de graphite pourrait se produire dans les fontes, mais non dans des aciers qui ne contiennent que 0,1 de carbone. De plus, on peut vieillir et rajeunir des tôles indéfiniment par des recuits convenables, à basse température; il ne s'agit donc pas, selon toute probabilité, d'une transformation aussi profonde que la séparation de graphite qui ne serait très probablement pas réversible si elle était possible. »

La séance est levée à 10^h 25^m du soir.

LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

France.

- Alliages métalliques (Les)*, par L. GAGES. Paris, Gauthier-Villars et Masson, sans date [1902]; 1 volume in-16° broché. (*Don de M. Gauthier-Villars.*)
- Année technique (L')* (1901-1902), par A. DA CUNHA. Préface de M. Émile Trélat. Paris, Gauthier-Villars; 1 volume grand in-8° broché, avec 114 figures. (*Don de l'Éditeur.*)
- Cours de l'École centrale des Arts et Manufactures : Électricité industrielle*, par D. MONNIER. 2^e édition. Paris, E. Bernard et C^{ie}; 1 volume grand in-8° broché. (Encyclopédie industrielle Lechalas.) (*Don des Éditeurs.*)
- Électricité et ses applications (L')*, par A. REBOUD. — Première Partie : *Les Piles électriques*. Paris, Ch. Béranger, 1903; 1 volume in-8° cartonné toile, avec 225 figures dans le texte. (*Don de l'Éditeur.*)
- Mécanique à l'Exposition de 1900 (La)*. -- Troisième livraison : *Les Machines à vapeur*, par Gabriel EUDE. Paris, V^{te} Ch. Dunod, 1902; 1 fascicule grand in-4° broché. (*Don de l'Éditeur.*)
- Recherches sur les aciers au nickel à hautes teneurs*, par M.-L. DUMAS. Paris, V^{te} Ch. Dunod, 1902; 1 volume in-8° broché. (Extrait des *Annales des Mines*, 1902.) (*Don de l'Éditeur.*)
-

BIBLIOGRAPHIE.

La traction électrique par contacts superficiels du système Diatto, par CH. JULIUS, Ingénieur. Imprimerie L. de Thier, à Liège. Éditeur, Gauthier-Villars, à Paris.

La littérature technique est loin d'être pourvue abondamment au sujet de la traction électrique par contacts superficiels.

Le système Diatto est l'un des systèmes de traction électrique qui ont peut-être donné lieu aux publications les plus nombreuses, mais les auteurs de celles-ci n'ont guère pu se référer qu'à des applications restreintes.

La véritable sanction de la valeur du système Diatto, comme de ses congénères, ne pouvait être fournie que par une expérience étendue. Quelques réseaux de Paris et non des moins importants ont permis au public comme aux ingénieurs d'établir un jugement pratique.

M. Julius, qui a eu la charge d'équiper et d'entretenir les lignes en Diatto, était bien placé pour présenter le bilan d'un mode de traction qui a ses partisans comme ses détracteurs. C'est ainsi qu'il nous présente méthodiquement les avantages et les inconvénients du système Diatto sans nous cacher les écueils et les aléas auxquels il se bute.

Document intéressant à consulter pour ceux qui veulent fonder leur opinion.

Étude de la législation allemande sur les brevets d'invention, par J. BONNET, Docteur en droit, Ingénieur des Arts et Manufactures. A. Chevalier-Maresq et C^{ie}, éditeurs, à Paris.

Ces Ouvrages se passent aisément de présentation littéraire ou technique et énoncer leur titre suffit à les signaler à l'attention des intéressés; d'ailleurs une analyse serait aussi difficile que superflue.

Il suffira de dire que l'Ouvrage est copieux et présenté sous le couvert d'un nom autorisé en la matière spéciale.

Les inventeurs et les industriels seront heureux de posséder une étude commentée et documentaire d'une législation si importante et unique en Europe par ses particularités souvent heureuses au point de vue de la propriété industrielle.

Théorie de la Lune, par H. ANDOYER, professeur adjoint à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris. Collection *Scientia*. Naud, éditeur, Paris, 1902.

L'auteur s'est ici proposé de faire comprendre, par les moyens les plus simples, comment on peut construire la *Théorie de la Lune*, c'est-à-dire déterminer analyti-

quement le mouvement relatif du centre de gravité de la Lune par rapport au centre de gravité de la Terre.

D'un développement purement analytique, ce volume fait partie de la série physico-mathématique de la collection; il est divisé en sept Chapitres.

La Géométrie non euclidienne, par P. BARBARIN. Collection *Scientia*. Paris, 1902.

C'est à Euclide, géomètre grec vivant 320 ans avant notre ère, que l'on doit les principes de la Géométrie usuelle, telle qu'elle est encore enseignée de nos jours.

Cette Géométrie n'est pas la seule qu'on puisse concevoir, car elle repose sur le *postulatum d'Euclide* relatif aux parallèles. Ce postulatum, que les plus grands géomètres ont reconnu comme vrai sans jamais arriver à le démontrer, laisse place à d'autres géométries basées sur le rejet du postulatum d'Euclide. Théoriquement, il peut y avoir un nombre infini de systèmes, mais ils se réduisent à trois, logiquement admissibles, chacun d'eux étant indépendant des autres. Ces systèmes sont ceux d'Euclide, de Riemann et de Lobatschewsky. Ils sont respectivement basés sur les hypothèses de l'angle droit, de l'angle obtus et de l'angle aigu.

Comme l'a dit M. Poincaré, « il n'y a pas de géométries plus ou moins vraies; il y a seulement des géométries plus ou moins commodes ». C'est cette commodité qui a fait conserver la Géométrie d'Euclide. A signaler dans ce livre l'intéressante reproduction d'une page du manuscrit grec des *Éléments d'Euclide*, ainsi que les portraits de Nicolas Lobatschewski (1793-1856) et de Bernhard Riemann (1826-1866).

Franges d'interférence et leurs applications métrologiques, par J. MACÉ DE LÉPINAY, professeur à la Faculté des Sciences de Marseille. Collection *Scientia*. Paris, 1902.

Les phénomènes d'interférence sont particulièrement bien exposés dans ce petit volume comprenant une Introduction et divisé en trois Parties.

La première Partie est consacrée à l'étude des procédés et appareils servant à la production des franges d'interférence, ainsi qu'à des considérations sur les diverses sources lumineuses à employer : radiations simples et complexes.

Dans la deuxième Partie, l'Auteur indique la manière de déterminer les ordres d'interférence et, comme application, les comparaisons métrologiques.

Enfin, dans la troisième Partie, sont groupées la comparaison des longueurs d'onde à l'étalon prototype du mètre, les mesures optiques de longueurs et la détermination de la masse du décimètre cube d'eau distillée à 4° centigrades.

La célérité des ébranlements de l'éther, par L. DÉCOMBE, Docteur ès Sciences. Collection *Scientia*. Paris, 1902.

Après l'exposé de quelques considérations générales, l'auteur, ayant rappelé l'hypothèse de l'éther, en fait l'histoire. C'est ainsi qu'il passe successivement en revue la théorie de l'émission et celle des ondulations lumineuses, en étudiant au fur et à mesure les analogies que présentent avec la lumière les phénomènes calorifiques et électriques. Ces analogies se précisent par la comparaison des vitesses de propagation

de la lumière, de l'électricité et des ondes électromagnétiques. On arrive ainsi à la célèbre théorie électromagnétique de la lumière et à l'éther de Maxwell. Les phénomènes lumineux, calorifiques, électriques sont tous dus, en définitive, à des ébranlements de l'éther; ces phénomènes ne diffèrent, en effet, que par la plus ou moins grande célérité des vibrations qui les provoquent.

La stéréochimie, par P. FREUNDLER, docteur ès Sciences, chef des travaux pratiques à la Faculté des Sciences de Paris. Collection *Scientia*, 1902.

La Stéréochimie, ou étude de la structure des molécules, a deux origines : l'une, cristallographique et physique, a pris naissance en France; l'autre, chimique, a surtout été développée en Allemagne.

L'auteur débute par un court Historique de la question et rappelle la mémorable découverte de Pasteur relative à la dissymétrie moléculaire de l'acide tartrique.

Les divers Chapitres sont respectivement consacrés aux notions du carbone tétraédrique, du carbone asymétrique et à la stéréochimie de l'azote.

Le fascicule de M. Freundler se termine par quelques conclusions se rapportant aux notions de valeurs et d'affinité. Il comprend, de plus, un Appendice consacré à la bibliographie des principaux Mémoires de Stéréochimie.

Groupements cristallins, par M. FRÉDÉRIC WALLERANT. Collection *Scientia*. Naud, éditeur, Paris.

L'auteur indique tout d'abord le sujet traité, en développant quelques généralités et consacrant quelques pages à l'Historique de la question.

Après avoir établi, dans un premier Chapitre, une classification des groupements cristallins, il étudie les groupements binaires autour d'un axe ternaire. Les Chapitres suivants ont successivement trait aux groupements parfaits, imparfaits, et à ceux obtenus par actions mécaniques. Des conclusions fort intéressantes terminent cette étude cristallographique.

L'élimination, par H. LAURENT. Collection *Scientia*.

L'élimination a pour but la résolution des équations algébriques à plusieurs inconnues. Avant le travail de M. Laurent, il n'existait guère qu'une seule monographie sur la théorie de l'élimination; c'était celle du chevalier Faa de Bruno, publiée en 1859. L'Auteur, avec une remarquable clarté, expose la question de l'élimination sous sa forme la plus large. Il traite d'abord de l'élimination entre deux équations, puis passe au cas général. Dans un Appendice, M. Laurent démontre très simplement que les fonctions implicites sont continues et ont des dérivées. Ces démonstrations sont laissées de côté dans les programmes d'études.

Cryoscopie, par M. RAOULT, Membre correspondant de l'Institut, doyen de la Faculté des Sciences de Grenoble. Collection *Scientia*. Paris, 1902.

Ce Fascicule est consacré à l'étude des phénomènes qui accompagnent la congélation. La température de solidification des dissolutions et des corps en surfusion se déter-

mine au moyen des cryoscopes, dont un certain nombre de types sont décrits minutieusement par l'Auteur. La cryoscopie des substances organiques (non-électrolytes) fait l'objet d'une étude très approfondie; elle se continue par la cryoscopie des composés salins (électrolytes). M. Raoult est décédé en 1901, et la dernière main a été mise à son travail par M. Lespieau, un des continuateurs de son œuvre.

L'année industrielle, par MAX DE NANSOUTY. Félix Juven, éditeur. Paris, 1902.

Dans cette cinquième année de la collection, M. de Nansouty résume les découvertes scientifiques et les inventions nouvelles parues en 1901. Comme dans les éditions précédentes, l'Ouvrage est divisé en huit Chapitres respectivement consacrés à l'Aérostation, au Cyclisme et à l'Automobilisme; à l'Agriculture et à l'histoire naturelle; à la Météorologie; aux chemins de fer; à la Marine; à la Mécanique; à la Physique et la Chimie, le dernier Chapitre comprenant les variétés, les recettes et les procédés utiles.

Les combustibles solides, liquides et gazeux, Ouvrage traduit d'après la troisième édition anglaise, par M. J. ROSSET, Ingénieur civil des Mines. Gauthier-Villars, éditeur. Paris, 1902.

Le légitime succès de cet Ouvrage ne se ralentit pas. Nous ne ferons que citer les titres des Chapitres que comporte l'édition actuelle. Poids spécifique des combustibles solides, liquides, gazeux. Analyse des combustibles solides et liquides. Analyse des combustibles gazeux. Pouvoir calorifique des combustibles et analyse de leurs cendres. Tableaux de résultats pratiques et d'analyses. Cette simple énumération suffit à montrer tout ce que peuvent trouver de renseignements les spécialistes qui auront à consulter ce *vade mecum* du chimiste et de l'industriel.

Les câbles sous-marins, Fabrication, par M. A. GAY, Ingénieur à la Société industrielle des téléphones. (Encyclopédie Léauté.) Gauthier-Villars, éditeur. Paris, 1902.

Dans cet intéressant petit Volume, l'auteur décrit la fabrication des câbles sous-marins. Il indique tout d'abord comment on prépare le conducteur et comment on vérifie ses propriétés. Puis, après quelques considérations sur la gutta-percha et sur sa purification, M. Gay explique la manière d'appliquer la gutta sur le conducteur pour former ce qu'on appelle l'*âme du câble*. Le lecteur est ensuite mis au courant des procédés employés pour protéger l'âme du câble, pour la recouvrir de son armature et finalement assiste véritablement à l'embarquement du câble, terminé, à bord des navires chargés de la pose. Un second Volume doit prochainement compléter celui-ci; il traitera spécialement de l'immersion du câble, opération dont l'importance est plus grande encore que celle de la fabrication, étant données les difficultés devant lesquelles l'activité humaine est restée longtemps impuissante.

Guide pratique pour le calcul des lignes électriques aériennes à courants alternatifs simples et triphasés, par M. PIONCHON, Directeur de l'institut électrotechnique de l'Université de Grenoble, et M. HEILMANN, Ingénieur de la Société Grenobloise de force et lumière. 1 vol. in-8° de 60 pages. A. Gratier et J. Rey, éditeurs. Grenoble, 1902.

Ce petit Volume est le cinquième de la collection « Au pays de la houille blanche ». Les auteurs, après avoir exposé quelques définitions et principes, établissent les formules générales relatives au calcul des lignes pour courants alternatifs, en tenant compte de la réactance. Ils résolvent, comme application, une série de problèmes concernant les lignes aériennes et résument par des Tables, barèmes et abaqes, les données dont on peut avoir besoin dans la pratique. Les démonstrations et justifications sont reportées dans un Appendice. En résumé, Ouvrage d'une utilité incontestable et dont le sujet aride est présenté d'une façon claire et concise.

Formules et tables pour le calcul des conducteurs aériens, par F. Loppé, Ingénieur des Arts et Manufactures. 1 vol. in-8°. E. Bernard et C^{ie}, éditeurs. Paris, 1902.

Un résumé de ce substantiel travail a déjà été publié par l'auteur, dans le *Bulletin* d'août-octobre 1901. M. Loppé a étudié la question des lignes aériennes d'une façon très complète, et les nombreuses Tables et graphiques contenus dans son Livre rendront de grands services aux ingénieurs.

Le problème des lignes aériennes est successivement traité au point de vue de la résistance électrique et de l'échauffement des divers conducteurs : cuivre, bronze, fer, aluminium ; puis, relativement à l'inductance des lignes, à l'écartement des poteaux et à la résistance à la rupture de ces derniers.

L'auteur étudie en outre l'influence des variations de température sur les conducteurs aériens. En un mot, tout ce qui est relatif aux lignes aériennes est examiné et approfondi avec une indiscutable compétence. L'Ouvrage se termine par des exemples de calculs de lignes aériennes avec appuis au même niveau et avec appuis à des niveaux différents (lignes établies en pays montagneux). Ce dernier sujet est traité pour la première fois d'une façon complète.

Merck's Index. 2^e édition.

Répertoire des divers composés employés en pharmacie, avec indication de leur formule et de leurs propriétés.

La Télégraphie sans fil et les ondes électriques, par le Commandant BOULANGER et le Capitaine FERRIÉ. 4^e édition.

Alors que l'on annonce, de temps à autre, de sensationnels résultats à l'actif du nouveau mode de communication, il est bon que des auteurs doublement autorisés comme savants et comme praticiens, et parfaitement indépendants, nous renseignent sur ce qui est en réalité acquis et sur ce qui reste à atteindre.

C'est ce que viennent de faire MM. le Commandant Boulanger et le Capitaine Ferrié, en publiant la 4^e édition de leur Ouvrage.

Sans revenir sur le contenu des divers Chapitres, où sont exposés avec une égale clarté les principes théoriques et les détails pratiques de la Télégraphie sans fil, nous signalerons seulement à la fin de l'Ouvrage le compte rendu des expériences faites entre Biot et Calvi; le maximum atteint pour la vitesse de transmission à 175^{km} a été de huit mots par minute, lorsque l'état atmosphérique laissait cette transmission possible; nous noterons aussi le scepticisme avec lequel les auteurs accueillent la fameuse transmission à 5000^{km}, qui produisit naguère tant d'émoi.

Les conclusions de la 4^e édition gardent d'ailleurs le caractère un peu pessimiste des éditions antérieures.

Pour les auteurs, les applications que l'on cherche à réaliser aujourd'hui, sous le nom de *Télégraphie sans fil*, ne peuvent, par essence même, en vertu de la loi des résonances multiples, donner une sécurité suffisante aux communications; on ne peut donc y chercher, avec les appareils actuels, le remplacement des procédés ordinaires de transmission.

La *Télégraphie sans fil* semble devoir fournir seulement un utile complément de ces procédés, en particulier pour les opérations navales et militaires.

Actualités scientifiques, par M. MAX DE NANSOUTY.

Dans une rapide revue, l'éminent chroniqueur vulgarise, en des lignes pleines de verve, les questions techniques et scientifiques les plus variées, des plus terre à terre aux plus ardues, depuis la fabrication des chapeaux de paille jusqu'aux travaux de Berthelot sur les carbures d'hydrogène.

Quelques Chapitres, trop rares, ont trait à l'électricité; tels ceux sur l'électroverre, la galvanoplastie, le chemin de fer de Chamonix, etc.

Souhaitons que, l'an prochain, les applications électriques fournissent à l'auteur de plus nombreuses occasions d'y consacrer son talent si apprécié de ses lecteurs.

La traction électrique sur la ligne de Fayet à Chamonix, par M. AUVERT.

L'auteur donne, dans ce Mémoire, illustré de nombreuses planches et figures, une description très détaillée de l'intéressante installation qu'il a étudiée et su mener à bien.

La ligne, à voie de 1^m, est longue de 19^{km} et présente des rampes de 80^{mm} et 90^{mm}. Elle est alimentée par deux stations hydroélectriques.

Nous relèverons dans cette description la régulation automatique de la tension aux bornes, obtenue grâce à un double enroulement des inducteurs, sans aucun régulateur.

A signaler aussi l'emploi de trains de six voitures automotrices, conduites par un wattman unique, à l'aide d'ingénieux servomoteurs à air comprimé.

La faible largeur de la voie a fait placer les induits perpendiculairement aux essieux des voitures; l'entraînement se fait par engrenages coniques et accouplement élastique.

Ce matériel permet de faire démarrer, en rampe de 90^{mm}, un train de six voitures d'un poids total de 130^t.

TABLE DES MATIÈRES

DES PÉRIODIQUES ÉTRANGERS.

CLASSIFICATION DES MÉMOIRES ORIGINAUX PUBLIÉS DANS LE *BULLETIN*.

- I. — Lois physiques et phénomènes généraux.
- II. — Unités. Méthodes et appareils de mesure.
- III. — Accumulateurs. Piles. Électrochimie. Électrométallurgie.
- IV. — Matériel électrique pour courants continus.
- V. — Matériel électrique pour courants alternatifs.
- VI. — Canalisation. Appareillage.
- VII. — Stations centrales. Installations diverses. Systèmes de distribution.
- VIII. — Transmission de l'énergie. Traction.
- IX. — Éclairage et chauffage.
- X. — Machines. Applications électro-mécaniques.
- XI. — Télégraphie, Téléphonie. Signaux.
- XII. — Divers. Historique. Jurisprudence. Réglementation.

Abbreviations.

EZ.	Elektrotechnische Zeitschrift.
eE.	English Electrician.
eER.	English Electrical Review.
ZE.	Zeitschrift für Elektrotechnik.
aEE.	American Electrical Engineer.
aER.	American Electrical Review.
aEW.	American Electrical World.
IEE.	Journal of the Institution of Electrical Engineers.
EMJ.	Engineering and Mining Journal.
FI.	Journal of the Franklin Institute.
aI.	Transactions of the American Institute of Electrical Engineers.
UW.	Bulletin of the University of Wisconsin.
SA.	Journal of the Society of Arts.
CA.	Centralblatt für Accumulatoren und Elementen Kunde.

I. -- Lois physiques et phénomènes généraux.

- Ancienne et nouvelle théories électriques ; *A. Trotter*, eER, 8/8, 15/8, 5/9, 5/10.
Appareil de démonstration pour courants alternatifs ; *R. Heilbrun*, EZ, 20/3.
Cataphorèse ; *W. Hedley*, ZE, 2/3.
Chocs électriques ; *T. Aspinall*, eE, 28/2.
Chocs électriques à 500 volts ; *A. Trotter*, eE, 28/2.
Conductibilité et constitution des alliages ; *J. Matthews*, aEW, 4/10.
Contribution à la théorie de la commutation ; *A. Rothert*, EZ, 25/9, 2/10.
Courants polyphasés ; *G. Elborall*, eE, 22/11, 6/12, 13/12, 20/12, 27/12, 10/1, 24/1, 4/4, 18/4.
Courants terrestres dérivés ; *B. Wedmore*, eE, 24/1, 31/1.
Courants terrestres dérivés des distributions ; *B. Wedmore*, IEE.
Décharge dans les gaz raréfiés ; *W. Wien*, eE, 25/7.
Développement de la théorie atomique, et ses rapports avec l'optique et l'électricité ; *C. Garrard*, eER, ./. , 14/2.
Déviation du fil à plomb ; *F. Mc. Nair*, aEW, 26/4.
Déviation magnétique des longs fils à plomb ; *W. Hallock*, aEW, 8/2.
Dilatation magnétique du fer et de l'acier ; *P. Shaw* et *R. Laws*, eE, 21/2, 7/3.
Distorsion du champ et réaction d'induit ; *R. Bauch*, EZ, 10/7.
Distribution du courant à la surface des cathodes dans les tubes à vide ; eE, 14/3.
Effet des ondes électriques sur le cerveau ; *A. Collins*, aEW, 22/2.
Effets destructeurs et mortels des courants à haute tension ; *M. Cleaves*, eER, 29/11, 6/12, 27/12, 10/1, 21/2, 28/3.
Électricité atmosphérique et courants terrestres ; *E. Walker*, eE, 12/9.
Élévation des couches conductrices de l'atmosphère ; *A. Kenelly*, aEW, 15/3.
Établissement théorique de la formule de Steinmetz ; *I. Dory*, ZE, 6/7.
Forme des ondes de force électromotrice dans les systèmes triphasés ; *A. Russell*, eE, 17/1.
Hystérésis tournante ; *A. Dina*, EZ, 16/1.
Induction dans l'entrefer ; *F. Carter*, aEW, 30/11.
Influence des actions atmosphériques sur la conductibilité de certains alliages d'aluminium ; *E. Wilson*, eE, 19/9.
Ionisation des gaz par le choc des ions ; *J. Stark*, eE, 21/3.
La luminosité et la théorie cinétique ; *J. Butler-Burke*, eE, 26/9.
Le polonium ; *S. Saubermann*, ZE, 24/8.
Lieux géométriques dans les diagrammes de courants alternatifs ; *M. Schenkel*, EZ, 19/12.
Limites des méthodes graphiques ; *A. Russell*, IEE, février.
Loi de l'induction magnétique ; *E. Müllendorff*, EZ, 7/11.
Manifestations électriques pendant l'éruption du mont Pelé, ZE, 7/9.
Note sur la grandeur et l'inertie des électrons ; *O. Heaviside*, eE, 4/4.
Note sur l'effet de la foudre sur les oiseaux ; *J. Léonard*, IEE.
Note sur les circuits inductifs ; *W. Brew*, eER, 4/4.
Notes sur les diagrammes de courants alternatifs ; *W. Sumpner*, eE, 20/12.
Notes sur les diagrammes de courants alternatifs ; *W. Sumpner*, eER, 10/1.

- Onde électrique accompagnant une perturbation mécanique dans un métal en contact avec un électrolyte ; *J. Bose*, *eE*, 29/8, 5/9.
- Perte d'énergie dans les isolants industriels soumis à de hautes tensions ; *C. Skrima*, *al*, mai.
- Problème général de la propagation des ondes ; *aEW*, 1/3.
- Propriétés électriques et magnétiques de quelques alliages de fer ; *B. Böhm Raffay*, *ZE*, 4/5, 11/5.
- Propriétés magnétiques des alliages de fer ; *eER*, 28/2, 7/3.
- Propriétés magnétiques du fer et de l'acier à la température de l'air liquide ; *C. Trowbridge*, *aEW*, 30/8.
- Propriétés physiques de certains alliages d'aluminium, et notes sur les conducteurs d'aluminium ; *E. Wilson*, *IEE*, février.
- Radioactivité et théorie des électrons ; *W. Crookes*, *eE*, 7/3.
- Réactance synchrone ; *F. Baum*, *aEW*, 26/4.
- Recherches microélectriques et d'analyse spectrale ; *E. Sterkel*, *ZE*, 2/2.
- Recherches sur la pression de la lumière ; *P. Lebedew*, *eE*, 26/11, 6/12.
- Relation entre les propriétés magnétiques et électriques des métaux ; *E. Gumlich*, *EZ*, 6/2.
- Réponse électrique dans l'animal, le végétal et le métal ; *J. Bose*, *eE*, 26/9.
- Représentation simple des enroulements fermés ; *W. Hübler*, *EZ*, 17/7.
- Résultats d'expériences sur les courants terrestres ; *E. Jahr*, *EZ*, 6/3.
- Simple démonstration de la différence de phase dans les circuits à courant alternatif ; *W. Kohlrausch*, *EZ*, 11/9.
- Spectre de l'arc enfermé ; *L. Bell*, *aEW*, 1/2.
- Stratifications de l'hydrogène ; *W. Crookes*, *eE*, 21/2, 28/2.
- Stéréoscopie par les rayons Röntgen ; *F. Perrine*, *aEW*, 18/1.
- Sur la définition de la différence de phase ; *E. Orlich*, *EZ*, 8/5.
- Théorie cyclonique du magnétisme ; *H. Cottrell*, *eER*, 27/6, 11/7, 25/7, 1/8.
- Théorie de la commutation ; *R. Pichelmayer*, *EZ*, 17/7.
- Théorie de la commutation ; *R. Pichelmayer*, *EZ*, 21/11.
- Théorie électromagnétique ; *E. Heaviside*, *eE*, 29/11, 14/2.
- Torsion du champ et réaction d'induit ; *R. Bauch*, *EZ*, 17/7.
- Tube à vide Gundelach-Dessau ; *L. Henne*, *EZ*, 31/7.
- Tubes de Geissler et effets de condensation ; *A. Dell*, *aEW*, 23/8.
- Une grande machine à influence ; *S. Allou*, *eER*, 15/8.

II. — Unités, méthodes et appareils de mesure.

- Ampèremètre à fil chaud ; *Kollert*, *EZ*, 1/5.
- Appareil pour déterminer la fréquence d'un courant alternatif ; *I. Löwy*, *ZE*, 8/12.
- Appareil pour la mesure de la sensibilité des chronographes ; *F. Posdena*, *EZ*, 2/10.
- Appareil pour l'essai des huiles et des métaux antifricition ; *G. Dettmar*, *EZ*, 21/8.
- Bobines d'essais pour wattmètres alternatifs ; *R. Beattie*, *eE*, 14/3.
- Calcul de la graduation des rhéostats ; *R. Krause*, *EZ*, 1/5.
- Compteur à eau électrique ; *W. Hentze*, *ZE*, 20/7.
- Compteurs électrolytiques ; *J. Dick*, *IEE*, décembre.
- Compteur électrolytique ; *Wright*, *ZE*, 27/4.

- Compteurs-moteurs ; *Th. Bruger*, EZ, 3/7.
Des compteurs ; *H. Dawis*, aI, octobre.
Détermination des constantes de la fonction magnétisante ; *R. Müllendorff*, EZ, 9/1.
Détermination des pertes des moteurs ; *W. Sumpner*, eE, 7/2.
Essai de Mance modifié ; *J. Stevens*, eE, 28/3.
Essais des générateurs et moteurs à courant continu ; *L. Smith*, aEW, 14/12.
Essais complets de moteurs avec un wattmètre et un voltmètre ; *A. Mc. Allister*, aEW, 11/1.
Essais de compteurs ; *J. Dawson*, eER, 25/7.
Essais des matériaux ; *P. Hollitscher*, EZ, 20/2, 27/2.
Essais de rendement de machines à vapeur ; *R. Weighton*, eE, 29/3.
Essais des moteurs électriques ; *P. White*, eER, 27/12.
Essais d'une turbine à vapeur ; *W. Robb*, aEW, 6/9.
État actuel de l'étalon de lumière ; *C. Sharp*, aI, décembre, 1901.
Expériences sur les variations périodiques du courant d'excitation d'un alternateur homopolaire ; *W. Duddell* et *F. Marchant*, eE, 29/11, 13/12.
Influence du champ terrestre sur les instruments de précision ; *K. Windmuller*, EZ, 26/12.
Le wattmètre électrostatique dans les mesures industrielles ; *M. Walker*, aI, mai.
Mesure balistique de l'hystérésis ; *G. Searle*, eE, 7/5.
Mesure de la puissance dans les circuits à courants alternatifs ; *W. Rhodes*, eER, 5/9.
Mesure de la résistance des dynamos à courant continu ; *A. Wether*, EZ, 2/1.
Mesure des puissances ; *J. Görner*, EZ, 17/4, 21/4.
Mesure directe des courants, phases et puissance par l'électromètre ; *K. Hohage*, EZ, 21/4.
Mesure du décalage dans les systèmes triphasés au moyen d'un wattmètre ; *A. Mc. Allister*, aEW, 23/4.
Mesure exacte des grandes différences de phase ; *M. Breslauer*, EZ, 13/3.
Mesure mécanique du glissement ; *E. Ziehl*, EZ, 12/12.
Mesures à distance, système Mershon ; *A. Bruschka*, ZE, 9/3.
Mesures des courants vagabonds ; *A. Larsen* et *S. Faber*, EZ, 19/12.
Mesures d'isolement en marche (courant continu) ; *E. Bruger*, EZ, 2/10.
Mesures sur un câble téléphonique avec bobines d'induction ; *F. Breisig*, EZ, 19/12.
Méthode de zéro pour mesures magnétiques ; *R. Goldschmidt*, EZ, 10/4.
Méthode de zéro pour mesures magnétiques ; *A. Roth*, EZ, 24/7.
Méthode exacte de freinage pour la détermination du rendement des moteurs ; *P. Jobst*, EZ, 17/7.
Méthode pour déterminer au dynamomètre le travail dépensé pour actionner la division Mott Haven des chemins de fer de New-York, et comparaison entre les prix de la traction électrique et de la traction à vapeur ; *B. Arnold*, aI, mai.
Méthode pour éliminer les corrections dans les essais de câbles ; *H. Savage*, eER, 17/1, 24/1.
Méthode pour la mesure de grands décalages ; *M. Breslauer*, ZE, 2/2.
Note sur les diagrammes des courants alternatifs, essais des moteurs ; *M. Sumpner*, IEE.

- Notes sur les essais de moteurs de tramways; *M. Field*, IEE, août.
- Nouveau compteur pour courants alternatifs de l'Union; *G. Stern*, EZ, 28/8.
- Nouveau perméamètre; *Lamb et Walker*, EZ, 21/11.
- Nouveau procédé de mesure de l'irrégularité et de l'écart angulaire; *F. Klönne*, EZ, 14/8.
- Nouvel appareil de mesure; *G. Dietze*, EZ, 18/9.
- Nouvel appareil pour mesurer la variation de vitesse d'un volant pendant un tour; *E. Mix*, 8/2.
- Nouvelle méthode de détermination du calage des alternateurs à inducteur mobile; *O. Queisser*, EZ, 6/2.
- Perméamètre à lecture directe; *F. Bauly*, eE, 22/11.
- Perméamètre pour essais de grandes masses; *C. Drysdale*, eE, 6/12.
- Perméamètre pour essais magnétiques des matériaux en grandes masses; *C. Drysdale*, IEE, février.
- Principes fondamentaux des compteurs C. Haskins; *C. Haskins*, aI, octobre.
- Sélecteur de tension pour mesures; *C. Heinicke*, EZ, 2/10.
- Usage du milliampèremètre et des galvanomètres pour les essais de câble; *C. Schaefer*, eE, 15/8, 22/8, 29/8, 5/9.
- Vérification des instruments de mesure; *C. Sharp*, 20/9.

III. — Accumulateurs. Piles. Electrochimie. Electrometallurgie.

- Accumulateurs américains pour automobiles; *CA*, 15/12.
- Accumulateurs à plaques légères et non conductrices; *A. Ricks*, CA, 1/2.
- Acides persulfuriques; *H. Armstrong et E. Lawry*, eE, 17/7.
- Attaque électrolytique et polarisation des tuyaux de fer dans le sol; *A. Larsen*, 18/9.
- Bases financières et projets d'usines de raffinage des métaux; *A. Philipp*, eE, 1/8, 15/8, 22/8, 5/9, 26/9.
- Calcul des câbles des réducteurs pour accumulateurs; *E. Hunke*, EZ, 5/12.
- Détérioration des plaques d'accumulateurs; *A. Marsh*, aEW, 13/9.
- Électrolyse des tuyaux de gaz; *J. Swinburne*, eE, 8/8, 15/8.
- Électrolyse par les courants alternatifs; *E. Wilson*, eE, 18/4.
- Élément dont le dépolarisateur est revivifié par l'oxygène atmosphérique; *G. Rosset*, CA, 1/8.
- État économique du marché des accumulateurs; *CA*, 15/10.
- Expériences sur les accumulateurs zinc-plomb; *O. Gabran*, EZ, 26/6.
- Formation électrolytique du peroxyde de plomb; *F. Peters*, CA, 1/12, 15/12, 1/4, 1/5, 1/10.
- Fours électriques; *B. Blount*, eE, 21/3, 28/3; eER, 28/3, 4/4.
- Galvanisation électrolytique du fer; *d'Oscanyan*, aEW, 13/9.
- L'accumulateur pour le service des automobiles; *W. Palmer*, aEW, 12/4.
- Les accumulateurs à l'Exposition de Buffalo; *G. Rabenhalt*, CA, 1/1.
- L'industrie électrochimique et électrometallurgique en 1901; *J. Kershaw*, eE, 3/1, 10/1.
- Méthodes modernes de travail des métaux; *H. Orcutt*, eE, 15/8, 22/8, 29/8.
- Pertes d'énergie dans les accumulateurs; *B. Hopkinson*, eE, 29/11, 6/12.
- Piles sèches; *C. Burgess*, aEW, 25/1.

Problèmes électrométallurgiques; *A. Beadle*, eER, 26/9, 12/10.
 Procédé Bell pour la fabrication des alcalis et du chlore; *J. Kerskaw*, eE, 7/2.
 Procédé Corbin pour la fabrication des chlorates; *J. Kerskaw*, eER, 17/1.
 Procédé électrolytique A. Ecker pour la fabrication des alcalis; *P. Townsend*, aEW, 5/4.
 Production électrolytique des chlorates; *J. Kerskaw*, eE, 13/12.
 Recherches sur le plomb spongieux; *U. Schoop*, CA, 1/4, 1/5.
 Recherches sur un accumulateur léger; *K. Norden*, CA, 15/8.
 Sur le renversement périodique du courant comme moyen de diminuer les corrosions électrolytiques; *A. Larsen*, EZ, 25/9.
 Théorie de l'accumulateur au plomb d'après Dolazelek; *W. Jäger*, CA, 15/3, 1/4.
 Théorie de l'élément fer-nickel d'Edison; *E. Rocher*, aEW, 7/12.
 Troubles dans les batteries d'accumulateurs stationnaires; *H. Wehrlin* et *V. Langstein*, CA, 1/7.

IV. — Matériel électrique pour courants continus.

Action de l'armature et position des balais; *H. Hobart*, eER, 28/2, 14/3, 21/3.
 Armatures à courant continu parcourues par des courants alternatifs; *L. Fleischmann* et *A. Orgler*, EZ, 27/3.
 Calcul des dynamos; *R. Kennedy*, eER, 28/3.
 Calcul des dynamos à courant continu; *A. Clayton*, eER, 21/2.
 Calcul des dynamos à courant continu; *H. Mavor*, IEE, décembre.
 Combien de lames au collecteur doit avoir une dynamo? *A. Rothert*, EZ, 10/4.
 Commutation sans étincelle avec balais fixes; *C. Hill*, eER, 10/1.
 Commutatrices et génératrices pour courant continu et alternatif; *S. Woodfield*, eER, 5/10.
 Construction d'une dynamo; *H. Mavor*, eER, 5/10.
 Dynamo à courant continu de 25 000 volts; *B. Böhm-Raffay*, ZE, 22/6.
 Dynamo-volant à courant continu de 1000 chevaux; *K. Nowak*, EZ, 17/7.
 Dynamos compensées pour courant continu, système Déri; *F. Eichberg*, EZ, 11/9.
 Enroulements pour courant continu et spécialement enroulement en série parallèle; *F. Eichberg*, ZE, 27/4.
 Influence des proportions des encoches sur les propriétés des dynamos; *A. Corsepius*, EZ, 28/11, 5/12, 12/12.
 Machines modernes à collecteur; *H. Hobart*, IEE, décembre.
 Moteur à courant continu et à vitesse variable; *A. Hundt*, EZ, 20/3.
 Théorie de la commutation; *F. Punga*, ZE, 27/7, 3/8, 10/8.
 Théorie des connexions équipotentiellles dans les armatures de dynamos; *E. Arnold*, EZ, 13/3, 20/3.
 Traitement des collecteurs; *R. Hellmund*, EZ, 11/9.
 Utilisation spécifique des matériaux dans les dynamos; *S. Thomson*, eE, 19/9.

V. — Matériel électrique pour courants alternatifs.

Accident singulier arrivé à un transformateur; *W. Kabler*, EZ, 12/12.
 Alternateurs avec amorçeurs; *J. Fischer-Huunen*, aEW, 28/12.

- Cage d'écureuil pour moteurs d'induction; *M. Osnos*, ZE, 10/8.
- Calcul de la chute de tension des alternateurs; *Fischer-Hinnen*, EZ, 26/12.
- Calcul des alternateurs; *Fischer-Hinnen*, ZE, 19/1, 26/1.
- Calcul des générateurs polyphasés; *K. Pichelmayer*, EZ, 31/10.
- Commutatrice comme régulateur de tension; *M. Seidner*, aEW, 3/5.
- Commutatrices et génératrices pour courant continu et alternatif; *S. Woodfield*, eER, 5/10.
- Compoundage des alternateurs; *A. Heyland*, EZ, 12/12.
- Contribution au calcul des diagrammes des moteurs d'induction; *O. Weisshaar*, EZ, 14/11.
- Courbe élastique des moteurs d'induction de grands diamètres; *H. Lindenmann*, EZ, 30/1, 6/2.
- Déplacement de phase des alternateurs et marche en parallèle; *H. Leake*, eER, 4/4, 18/4.
- Détermination de la caractéristique des alternateurs; *A. Herdt*, aI, mai.
- Échauffement des induits dentés; *F. Davies*, eE, 12/9.
- Étude d'un moteur polyphasé de la Maschinenbau A. G.; *E. Ziehl*, EZ, 20/3.
- Générateurs asynchrones, mono et polyphasés; *A. Heyland*, EZ, 26/6.
- Générateurs mixtes et leurs applications; *E. Ruthven, Murray*, eE, 4/7.
- Génératrice triphasée de 500 kilowatts; EZ, 4/9.
- Influence de la fermeture des encoches dans le système inducteur des moteurs à champ tournant; *W. Mollier*, EZ, 31/7.
- Interrupteur Wehnelt modifié; *A. Foley* et *R. Nyswander*, aEW, 1/3.
- Le moteur d'induction et la commutatrice; *C. Scott*, aI, décembre 1901.
- Marche en parallèle des alternateurs; *J. Berg*, aI, octobre.
- Marche en parallèle des alternateurs; *H. Meyer*, EZ, 31/10.
- Marche en parallèle des alternateurs; *W. Schlichter*, aI, octobre.
- Mesure du glissement des moteurs asynchrones; *A. Schweitzer*, EZ, 14/11.
- Méthode pratique de calcul de la réactance d'un transformateur; eER, 5/9.
- Méthodes de compoundage des dynamos, alternateurs, moteurs synchrones et commutatrices; *F. Baum*, aI, mai.
- Moteur asynchrone employé comme synchrone; *E. Danielson*, EZ, 26/2.
- Moteurs d'induction à vitesse réglable; ZE, 29/12.
- Notice sur la synchronisation; *J. Romau*, aEW, 14/16.
- Notes sur la théorie des motrices synchrones avec application spéciale aux oscillations; *C. Steinmetz*, aI, mai.
- Notes sur le calcul des alternateurs; *J. Denham*, eE, 26/9.
- Notes sur les machines polyphasées; *C. Eboral*, cER, 25/4, 20/6.
- Nouveau procédé de démarrage pour moteurs d'induction; *A. Schwartz*, EZ, 4/9.
- Oscillations des machines en parallèle; *A. Föppl*, EZ, 23/1.
- Prédétermination de la chute de tension des génératrices polyphasées; *F. Kesserling*, EZ, 2/10.
- Premiers résultats d'expérience sur le moteur asynchrone compensé; *A. Heyland*, EZ, 9/1.
- Quelques mots sur le moteur compensé d'Heyland; *M. Breslauer*, ZE, 20/4.
- Redresseur électromagnétique pour courants alternatifs; *G. Morse*, aEW, 19/7.
- Remarques sur le diagramme général des transformateurs; *F. Eichberg*, ZE, 5/10.

- Rendement et facteur de puissance de petits moteurs triphasés; *ZE*, 13/4.
Rupture des arbres des machines couplées directement par les oscillations aux vitesses critiques; *J. Frith*, IEE.
Saturation la plus économique pour générateurs polyphasés; *E. Korrodi*, *EZ*, 16/1.
Saturation normale des électros d'alternateurs; *R. Beattie*, *eE*, 17/7.
Stabilité et capacité de surcharge des moteurs synchrones; *P. Baum*, *aEW*, 29/3.
Sur les pertes d'un puissant moteur asynchrone; *E. Bodensteiner*, *EZ*, 21/8.
Transformateur à courant constant pour éclairage à arcs en série; *FI*, novembre.
Transformateur à noyaux à rendement maximum; *F. Punga*, *ZE*, 15/12, 22/12.
Une expérience avec des alternateurs monophasés sur circuit polyphasé; *C. Mailoux*, *al*, mai.
Vitesses des machines connectées directement aux alternateurs; *E. Knowlton*, *aEW*, 26/7.

VI. — Canalisation. Appareillage.

- Aluminium, propriétés, production et usage; *W. Morrison*, IEE, février.
Appareillage pour haute tension; *H. Schuh*, *EZ*, 24/7.
Appareils de protection pour tramways; *M. Kosch*, *EZ*, 30/1.
Appareils de sûreté pour circuits à haute tension; *J. Bornau*, *aEW*, 16/8.
Atténuation et distorsion sur les longues lignes, considérées comme phénomènes hydrauliques; *H. Eddy*, *aEW*, 26/7.
Câble téléphonique sous-marin à induction augmentée; *C. Krarup*, *EZ*, 17/4.
Câbles à haute tension; *H. Schäfer*, *eE*, 22/11.
Calcul du nombre et de la valeur des résistances de réglage; *K. Krause*, *EZ*, 23/1.
Calcul prompt et pratique des rhéostats pour lumière; *P. Gesing*, *EZ*, 3/4.
Calcul économique des canalisations; *L. Teichmüller*, *EZ*, 6/3.
Canalisation à 60000 volts sur les côtes du Pacifique; *W. Blanck*, *EZ*, 25/9.
Canalisations souterraines pour réseaux téléphoniques; *C. Abbott*, *aEW*, 30/8, 6/9, 13/9, 20/9, 27/9.
Construction de tableaux de haute tension; *H. Clothier*, *eER*, 7/3, 14/3, 21/3.
Construction de tableaux pour haute tension; *H. Clothier*, IEE, août.
Contribution au calcul des feeders de tramways; *A. Sengel*, *EZ*, 17/4.
Contribution au calcul des prix des canalisations électriques; *L. Cohn*, *EZ*, 27/3.
Contrôleur simplifié pour triphasé; *E. Klein*, *EZ*, 23/1.
Coups de foudre, enseignements à en tirer; *F. Neesen*, *EZ*, 28/11.
Dangers résultant des tramways pour les conduites métalliques; *R. Ulbricht*, *EZ*, 14/8.
Densité de courant dans les résistances; *J. Erlocher*, *EZ*, 8/5.
Dimensions des surfaces de contact et des vis dans les appareils électriques; *R. Hellmund*, *ZE*, 12/10.
Distribution avec fil neutre non isolé; *E. Morgan*, *eER*, 5/9.
Effets de la self-induction et de la capacité dans les transmissions électriques; *G. Baillie*, *eE*, 18/7, 8/8.
Élasticité des canalisations pour courants polyphasés; *J. Teichmüller*, *EZ*, 2/1.
Élévations de tension dans les circuits alternatifs; *R. Kenelly*, *aEW*, 23/11.
Élévation de tension dans les transmissions; *W. Woodhouse*, *eE*, 5/9.
Élévations de tension sur les circuits alternatifs; *R. Baum*, *aEW*, 26/7.

- Étincelles des interrupteurs; *A. Russel*, IEE.
- Explosion de gaz dans les conduites électriques; *eER*, 25/4.
- Formules pour calculer la force électromotrice en un point quelconque d'une ligne de transmission; *M. Leblanc*, *al*, mai.
- Influence des pertes sur les lignes aériennes du système Perkin; *F. Breisig*, *EZ*, 12/12.
- Interrupteur; *S. Schmidt*, *EZ*, 8/5.
- Interrupteur automatique pour transformateurs; *D. Jacobovitz*, *ZE*, 13/4.
- Isolement des conducteurs dans l'Inde; *K. Scott Moncrieff*, IEE, février.
- La gutta aux Philippines; *O. Kerbey*, *aEW*, 1/2.
- Localisation des défauts dans les câbles souterrains; *H. Stott*, *al*, novembre.
- Localisation finale des terres sur les circuits à basse tension; *A. Mc. Douall*, *eER*, 14/3.
- Mise à la terre des circuits secondaires; *B. Hood*, *aEW*, 5/7.
- Mise à la terre du conducteur neutre; *A. Abraham*, *eER*, 2/28.
- Mise à la terre du fil neutre; *G. Hooghwinkel*, *eER*, 30/8.
- Modification des rhéostats à chevilles; *W. Knobloch*, *EZ*, 13/2.
- Notes sur la mise à la terre; *H. Proctor*, *eE*, 1/8.
- Notes sur l'industrie des câbles en Allemagne; *M. O'Gorman*, *ER*, 17/1.
- Notes sur les canalisations aériennes; *O. Burne*, IEE, février.
- Nouveau conjoncteur automatique; *M. Wogelsang*, *EZ*, 18/9.
- Nouveau système de canalisation; *A. Peschel*, *EZ*, 6/3.
- Parafoudre à cornes armé; *E. Klein*, *EZ*, 19/12.
- Percement des câbles par les coups de foudre; *K. Wilkens*, *EZ*, 26/6.
- Permutateur redresseur de courants alternatifs à balais tournants; *P. Letheule*, *aEW*, 15/3.
- Portée à donner aux canalisations aériennes à fil nu; *K. Krohne*, *EZ*, 3/7.
- Pose d'un câble sous-marin, en hiver, au Canada; *G. Holman*, *aEW*, 22/3.
- Progrès dans la construction des appareils électriques; *J. Löwy*, *ZE*, 9/2.
- Quelques appareils nouveaux; *B. Field*, *eE*, 3/10.
- Recherches théoriques sur les oscillations à très haut potentiel dans les transmissions à haute tension; *C. Steinmetz*, *al*, octobre.
- Résistances de démarrage; *A. Gott*, IEE, août.
- Rôle des résistances en série et en dérivation dans les parafoudres; *P. Thomas*, *al*, mai.
- Sections des conducteurs; *E. Griswold*, *aEW*, 2/8.
- Sur l'économie des interrupteurs de transformateurs sur la haute tension; *E. Geist*, *EZ*, 16/1.
- Sur l'électrolyse des canalisations par les tramways; *R. Ulbricht*, *EZ*, 13/3.
- Sur l'utilisation de l'espace dans les câbles; *P. Holitscher*, *EZ*, 31/7.
- Sur les coupe-circuits dans les branchements; *A. Sengel*, *EZ*, 1/5.
- Sur un nouveau réducteur automatique; *P. Thienne*, *EZ*, 27/7.
- Sur une ininterchangeabilité absolue des coupe-circuits; *E. Dreefs*, *EZ*, 26/6.

VII. — Stations centrales. Installations diverses. Système de distribution.

- Avantages des distributions à deux et trois fils; *J. Snell*, *eE*, 8/8.
- Avantages relatifs des divers systèmes de distribution pour alimenter des réseaux à basse tension; *B. Field*, *eE*, 13/12, 20/12.

- Chaudière Solignac; *W. Booth*, eE, 10/10.
- Circulation dans les chaudières à tubes d'eau; *B. Booth*, eE, 4/4.
- Combustion sans fumée de charbons bitumineux; *W. Booth*, eE, 10/10.
- Comparaison des systèmes mono-, di- et triphasés pour l'alimentation des réseaux à basse tension; *M. Field*, IEE, décembre.
- Considérations sur l'accouplement direct des moteurs et des dynamos; *E. Ehuert*, ZE, 28/9.
- Constructions graphiques pour le calcul des réseaux; *B. Joschinski*, EZ, 21/4.
- Contrôle des installations de grande puissance à haute tension; *E. Rice*, al, décembre 1901.
- Courants continus à haute tension; *A. Barnard*, eE, 4/7.
- Degré de régularité et décalage angulaire des machines à manivelle; *F. Klömme*, EZ, 5/4.
- Distribution à 3 fils 500-250 volts, pour lumière et force motrice; *P. Torchis*, al, novembre.
- Distribution dans les grandes villes; *L. Ferguson*, al, novembre.
- Distribution dans les villes d'importance moyenne; *W. Roob*, al, novembre.
- Distribution par câbles à haute tension, à Buffalo; *C. Scott*, al, novembre.
- Distribution polycyclique; Arnol, Bragstad, Lacour; *E. Arnold*, EZ, 26/6, 3/7.
- Distribution triphasée avec circuits monophasés; *R. Emmell*, al, novembre.
- Distribution triphasée pour force motrice et lumière; *P. Woodfield*, eER, 3/1.
- Distribution triphasée, son application à l'utilisation des circuits monophasés; *W. Emmett*, aEW, 14/12.
- Emploi de l'électricité dans les mines; *E. Church*, FI, décembre.
- Entretien des moteurs et de leurs accessoires; *A. Mayes*, eER, 12/9.
- Facteurs de force et de maximum; *G. Benischke*, ZE, 30/3.
- Fumivorté; *J. Raworth*, eE, 26/9.
- Grandes machines à gaz couplées à des dynamos; *A. Bellamy*, eE, 18/4, 25/4.
- Influence de l'installation des sous-stations sur le prix de revient du courant; *A. Stewart*, eE, 21/2.
- Installation de Buenos-Ayres; *H. Baehcker*, EZ, 8/5.
- Installation d'une grande puissance hydraulique à Hartford; *A. Adams*, aEW, 8/3.
- Installation du port de Emdon; *H. Langner*, EZ, 2/10.
- Installations à haute tension et courant continu; *C. Kinsbrunner*, ZE, 3/8.
- Installations modernes à haute tension en Amérique; *W. Blanck*, EZ, 31/7, 7/8.
- Le type correct de machines pour les grandes stations; *A. Day*, eE, 25/7.
- Méthodes actuelles de canalisation intérieure; *A. Bathurst*, eER, 1/4.
- Mise à la terre des systèmes à haute tension; *J. Nies*, aEW, 12/4.
- Moyens de diminuer le courant à vide des installations à courants alternatifs; *Winkler*, ZE, 4/5.
- Note sur l'influence de l'installation des sous-stations et de la ligne sur le prix de l'énergie électrique; *A. Stewart*, IEE.
- Notes pratiques sur les distributeurs de courant continu; *J. Ward*, eE, 24/1, 31/1.
- Notes sur la distribution par courants alternatifs; *S. Barstow*, al, novembre.
- Notes sur la puissance hydraulique de l'Irlande et son emploi électrique; *W. Eatlow*, eE, 4/4, IEE.
- Notes sur les installations intérieures; *F. Broadbent*, eER, 11/4.

Nouvelle usine de Shoreditch ; *eER*, 20/6.
Nouvelles installations du Niagara ; *H. Buck*, *aEW*, 5/7, 12/7, *aI*, mai.
Procédé de synchronisation des moteurs ; *W. Duane*, *aEW*, 15/3.
Production de l'électricité ; *H. Earle*, *eE*, 7/2, 14/2.
Progrès récents des machines à gaz ; *H. Humphreys*, *eE*, 10/10.
Protection des machines électriques ; *J. Clarke*, *eER*, 11/7.
Puissance nominale des moteurs et générateurs ; *eE*, 8/8.
Rapport de transformation dans les circuits triphasés ; *A. del Mar*, *aEW*, 19/4.
Réglage à la main des régulateurs des machines à vapeur dans les stations ; *J. Dales*, *eE*, 3/10.
Remarques sur les installations de moteurs électriques ; *A. Mayes*, *eER*, 1/8.
Station centrale de Crottorf (Saxe) à haute tension ; *R. Apt*, *EZ*, 28/11.
Station centrale de Saint-Petersbourg, de la Société « Électricité et Hydraulique » ; *W. Multhaus*, *EZ*, 8/5.
Station de Gmünd ; *E. v. Rizha*, *ZE*, 26/1.
Station de Rheydt-Gladbach ; *H. Leisse*, *EZ*, 2/1.
Station municipale de Ludwigshafen ; *R. Cassner*, *EZ*, 24/7.
Station Waterside, à New-York ; *aEW*, 4/1, 11/1, 18/1, 1/2.
Stations récentes de transformateurs ; *F. Winawer*, *ZE*, 22/12.
Système de transmission de Mexico ; *S. Hayes*, *aEW*, 15/3, 22/3, 29/3.
Triphasé contre courant continu ; *E. de Fodor*, *ZE*, 24/11, 1/12.
Turbines à vapeur ; *S. Fedden*, *eE*, 18/7.
Usine de Pressburg ; *F. Ross*, *ZE*, 2/2.
Usine hydraulique de Sault Sainte-Marie ; *F. Pakins*, *aEW*, 27/9.
Usine municipale de Bristol ; *eE*, 14/2.
Usines de Newcastle ; *W. Hunter*, *eE*, 12/9.
Usines électriques de Manchester ; *C. Kinzbrunner*, *ZE*, 13/7.
Variations angulaires des moteurs à vapeur ; *P. Keilholtz*, *aI*, octobre.

VIII. — Transmission de l'énergie. Traction.

Automobiles électriques ; *H. Joel*, *eER*, 22/11.
Automobiles électriques à canalisation aérienne ; *M. Schiemann*, *EZ*, 21/11.
Calcul du travail de traction des moteurs ; *M. Muller*, *EZ*, 7/11.
Centrale de Lagos ; *C. Hohl*, *EZ*, 21/8.
Chemin de fer à courant monophasé ; *B. Lamme*, *aEW*, 4/10.
Chemin de fer aérien à Liverpool ; *eE*, 27/6.
Chemin de fer de Berlin ; *EZ*, 13/2.
Chemin de fer électrique de Détroit ; *S. Dodd*, *aEW*, 4/10.
Chemins de fer électriques ; *L. Raymond Schiller*, *ZE*, 23/2, 2/3.
Chemin de fer triphasé à haute tension de Wüllersdorff ; *F. Golwig*, *ZE*, 16/3, 23/3.
Choix des moteurs pour railways ; *W. Potter*, *aI*, février.
Chute de potentiel sur les lignes de tramways ; *G. Kapp*, *eE*, 11/4.
City and South Railway ; *eE*, 22/11, 6/12, 20/12, 31/1, 21/2, 7/3, 21/3.
Comparaison du trolley et des accumulateurs ; *E. Gilbert*, *eER*, 20/12.
Conduite des voitures de tramways ; *H. Phillimere*, *eER*, 12/10.
Considérations sur les stations centrales de traction ; *M. Eisig*, *EZ*, 3/7, 10/7.

- Consommation d'énergie dans les automobiles; *H. Alden*, *aEW*, 15/2.
- Dangers du trolley et mesures de précaution; *A. Jamieson*, *IEE*, décembre.
- Démarrage des moteurs électriques; *C. Kötting*, *EZ*, 10/7.
- Développement des réseaux de trolley au Michigan; *E. Hart*, *aEW*, 16/11.
- Équipement de l'Elevated de Manhattan; *aEW*, 11/1, 18/1, 25/1.
- Essais comparatifs d'accélération dans la traction à vapeur et électrique; *B. Arnold* et *W. Potter*, *aI*, mai.
- Essais et usages des moteurs électriques; *P. White*, *eER*, 3/1, 14/3.
- Étude sur l'échauffement des moteurs de tramways; *A. Armstrong*, *aI*, mai.
- Exploitation électrique des chemins de fer; *G. Meyer*, *ZE*, 6/4.
- Fil de trolley, pose, fonction et protection; *M. Schiemann*, *EZ*, 18/9.
- Générateur pour traction de l'A. E. G., *Niethammer*, *EZ*, 16/1.
- Installation et entretien des voitures électriques; *A. Wigram*, *IEE*.
- Le problème des chemins de fer électriques; *J. Swinburne*, *eE*, 14/3.
- Le tunnel de Baker Street; *A. Haigh*, *eE*, 4/4.
- Locomotive avec moteurs à 10 000 volts; *W. Reichel*, *EZ*, 7/8.
- Matériel des tramways et son entretien; *W. Wigram*, *eE*, 24/1.
- Métropolitain de Berlin; *H. Koestler*, *ZE*, 11/5.
- Moteurs à engrenages pour tramways; *Siebert*, *EZ*, 6/3.
- Moteurs de traction à grande vitesse et compensation de phase; *A. Heyland*, *EZ*, 7/11.
- Note sur l'influence de la composition chimique sur la résistance des rails; *S. Woodfield*, *eER*, 27/6.
- Note sur les procédés européens de traction par courants triphasés; *C. de Mural*, *aI*, avril.
- Nouveau système électropneumatique pour construction de chemin de fer électrique; *B. Arnold*, *aI*, mai.
- Nouvelle combinaison de moteurs polyphasés pour traction; *E. Danielson*, *aI*, avril.
- Nouvelle exploitation électrique du chemin de fer métropolitain de New-York; *A. Hruschka*, *EZ*, 31/10.
- Problème des chemins de fer électriques; *I. Swinburne* et *W. Cooper*, *IEE*.
- Problème des chemins de fer électriques; *J. Swinburne* et *R. Cooper*, *eE*, 4/4, 11/4, 18/4.
- Protection automatique des voitures de tramways; *C. Kinzbrunner*, *ZE*, 14/9.
- Protection des piétons et freinage des tramways; *E. Seefelner*, *ZE*, 30/3.
- Protection des voitures des tramways de Vienne; *J. Seidener*, *ZE*, 16/2.
- Quelques points de l'équipement des voitures de tramways; *W. Rhodes*, *IEE*.
- Récupération de l'énergie de freinage dans les automobiles; *W. Müller*, *CA*, 1/1, 1/2, 15/2, 1/3.
- Réduction des courants vagabonds dans les chemins de fer à retour, par les rails, de courant alternatif; *E. Ziehl*, *EZ*, 20/2.
- Relation de la puissance des moteurs et de l'horaire des trains électriques; *C. Hutchinson*, *aI*, février.
- Répartition des courants sur les réseaux de chemins de fer; *P. Pforr*, *EZ*, 24/7.
- Résistance des trains; *I. Aspinall*, *eE*, 6/12.
- Sur l'inertie des parties mobiles d'un train; *N. Storer*, *aI*, février.
- Système de transmission, *aI*, février.
- Système F. Sprague appliqué à Boston; *eER*, 13/12, 20/12.

- Traction électrique à Londres ; *J. Robinson*, *eE*, 28/3.
Traction électrique avec troisième rail ; *E. Guarini*, *eER*, ...
Traction électrique sur les chemins de fer ; *W. Mordey* et *B. Jenkin*, *eE*, 28/2.
Traction électrique sur les chemins de fer, matériel d'Oerlikon ; *EZ*, 17/4.
Traction sur les chemins de fer italiens ; *C. Carus Wilson*, *IEE*.
Tramways souterrains ; *G. Wordingham*, *eER*, 13/12.
Transmission à 50000 volts de la Missouri River C° ; *A. Clapp*, *aEW*, 9/8.
Transmission dans la région de Pike's Peak ; *R. Jones*, *aEW*, 26/7.
Transmission d'énergie de la Susquehanna ; *O. Waters*, *aEW*, 30/11.
Transport d'énergie sur la côte Nord-Est ; *C. Vesey-Brown*, *eE*, 4/4.
Transporteurs de charbon à Édimbourg ; *eE*, 13/12.
Voiture de l'A. E. G. pour trains rapides ; *E. Jordan*, *ZE*, 24/11, 1/12, 8/12.
Voiture électrique rapide de l'A. E. G. de Berlin ; *O. Lasche*, *IEE*, décembre.

IX. — Éclairage et chauffage.

- Arc alternatif ; *E. Adler*, *aEW*, 21/6.
But de la technique de l'éclairage ; *O. Lummer*, *EZ*, 28/8, 4/9.
Calcul prompt et pratique des rhéostats pour lumière ; *P. Gesing*, *EZ*, 3/4.
Éclairage des rues et unités de lumière ; *W. Ryan*, *al*, décembre, 1901.
Éclairage de la gare de Matzlenisdorf ; *C. Jordan*, *ZE*, 10/8.
Éclairage de la gare du Sud, à Vienne ; *C. Jordan*, *ZE*, 16/2.
Éclairage et railways de Staten Island ; *M. Læwenenthal*, *aEW*, 28/12.
Éclairage et transmission dans les tissages ; *M. Osborne*, *IEE*, août.
Éléments de l'illumination ; *L. Bell*, *aEW*, 23/11.
Essais sur la lampe Nernst ; *R. Hulse*, *eE*, 4/4, 11/4, *IEE*.
Fabrication des lampes à incandescence ; *eER*, 9/5.
La lampe à incandescence actuelle ; *J. Howell*, *al*, décembre, 1901.
Lampe Bremer ; *S. Saubermann*, *ZE*, 13/4.
Lampes à gaz électriques ; *P. Cooper Hewitt*, *al*, décembre, 1901.
L'arc alternatif ; *C. Bedell*, *aEW*, 13/9.
Méthode d'éclairage ; *L. Bell*, *al*, février.
Méthodes d'éclairage et unités de lumière ; *al*, avril.
Note sur la flamme de l'acétylène dans l'oxygène ; *C. Sharp*, *al*, décembre, 1901.
Note sur le spectre de l'arc enfermé ; *W. Smith*, *aEW*, 22/2.
Nouveau type de lampe à courant continu ; *F. Lewis*, *eER*, 2/5.
Nouvelle lampe Edison à tungstate de calcium ; *W. Hammer*, *al*, avril.
Rendement de la lampe à mercure d'Arons ; *C. Geer*, *aEW*, 19/7.
Simple méthode pour régler la tension d'éclairage sur les chemins de fer électriques ;
H. Schuh, *EZ*, 3/4.
Théorie de la lampe à arc Régina ; *B. Donath*, *EZ*, 13/3.

X. — Machines. Applications électromécaniques.

- Aimants pour levage ; *F. Dietze*, *EZ*, 13/2.
Application de l'électricité dans les forges ; *D. Selby-Bigge*, *eE*, 3/10

Consommations des ascenseurs actionnés par courants continus et alternatifs ; *G. Sever*, aI, avril.
Contrôle des moteurs électriques dans les ateliers ; *C. Woodfin*, eER, 19/9.
Débrayage instantané pour ateliers ; *J. Löwy*, ZE, 13/7.
Destruction des ordures au point de vue sanitaire et économique ; *F. Broadbent*, eER, 1/8, 22/8, 30/8, 26/9.
Freins de grues ; *E. Rosenberg*, ZE, 13/7.
Freins électriques ; *G. Fawcus*, eER, 26/9.
Grues électriques ; *W. Kung*, eER, 29/11.
Grues et treuils pour aciéries ; *A. Krebs*, aEW, 29/3.
Installation électrique des mines de Comstock ; *L. Hall*, aEW, 23/8.
Irrigation par pompes électriques ; *A. Bowie*, aEW, 9/8.
Le premier labour électrique en Autriche ; *E. Roth*, ZE, 31/8.
Machines-outils à l'Exposition de Glasgow ; *F. Bathurst*, eER, 22/11, 29/11, 27/12, 3/1, 17/1, 31/1.
Nouveau traceur ; *R. Owens*, aI, mai.
Perforatrices électriques ; *E. Heubach*, ZE, 9/3, 23/3.
Pompes alimentaires électriques ; *A. Johnston*, eER, 10/1.
Pompes pour condensation ; *C. Hopkinson*, eE, 5/9.
Protection automatique des moteurs de treuils par les démarreurs ; *R. Krause*, EZ, 26/12.
Que doit attendre l'électrotechnique des exploitations agricoles ? *R. Haas*, EZ, 28/8.
Sécurité des élévateurs ; *G. Frennerfelt*, aEW, 12/7.
Téléphérage ; *C. Clark*, aI, avril.
Trainage électrique dans les mines ; *W. Clarke*, aEW, 29/3.

XI. — Télégraphie. Téléphonie. Signaux.

Avenir du téléphone dans le Royaume-Uni ; *J. Kinsbury*, eE, 26/9.
Bases scientifiques de la Télégraphie par étincelles ; *A. Staby*, EZ, 27/7.
Bases scientifiques de la Télégraphie sans fil ; *A. Staby*, EZ, 27/3.
Bases scientifiques de la Télégraphie sans fil ; eE, 25/4, 2/5.
Brevets Fessenden de Télégraphie sans fil ; *F. Collins*, eE, 3/10.
Bureau central du Post-Office ; eE, 7/3.
Bureau central téléphonique du Post-Office, à Londres, EZ, 8/5.
Bureaux centraux téléphoniques... ; *A. Abbott*, aEW, 25/1, 8/2.
Bureau téléphonique de Battersea ; *L. Dankwort*, EZ, 11/9.
Cohérences *Castelli* et de la Marine italienne ; *A. Banti*, eER, 11/7.
Derniers progrès de la Télégraphie Marconi ; *W. Blaydes*, aEW, 8/3.
Derniers succès de M. Marconi dans la Télégraphie océanique ; *W. Blaydes*, eE, 4/4.
Des prix du téléphone au point de vue de l'ingénieur ; *F. Dommergue*, aI, avril.
Développement du téléphone dans l'Indiana ; *R. Fisher*, aEW, 21/12.
Économie et rapidité des systèmes télégraphiques ; *R. Hitchcock*, aEW, 16/11.
Effet de la lumière du jour sur les transmissions à longue distance des ondes électriques ; *G. Marconi*, eE, 18/7.
Installation d'un bureau téléphonique moderne ; *E. Wermull*, IEE, août.
Installation et exploitation de téléphones ; *A. Abbott*, aEW, 7/12, 14/12, 21/12, 28/12, 4/1, 19/4, 21/6, 9/8.

- Le téléphone dans la Télégraphie sans fil; *E. Guarini*, *aEW*, 5/4, 12/4.
Logement d'un bureau central; *H. Welb*, *aEW*, 30/8.
Note sur un téléphone ronflant; *F. Gill*, *IEE*, février.
Nouveau mode de transmission et relai pour câble; *J. Munro*, *eER*, 5/10, 12/10.
Nouveau système du téléphone à Paris; *J. Bordelongue*, *eE*, 27/6.
Nouveaux petits bureaux du Post-Office; *eE*, 25/7, 8/8.
Nouvelles expériences de Phototéléphonie; *E. Ruhmer*, *EZ*, 25/9.
Ondes électriques au point de vue de la Télégraphie de Marconi; *G. Seibt*, *EZ*, 10/4, 17/4, 21/4, 1/5, 8/5.
Perfectionnements dans la Télégraphie sans fil; *C. Fritts*, *aEW*, 2/8.
Phénomènes affectant la transmission d'ondes électriques sur terre et sur mer; *H. Jackson*, *eER*, 22/8.
Présent et avenir de la Télégraphie sans fil; *A. Collins*, *aEW*, 28/6.
Progrès de la Télégraphie aérienne; *G. Marconi*, *eE*, 27/6.
Progrès de la Télégraphie dans l'espace; *G. Marconi*, *eER*, 18/7.
Progrès de la Télégraphie sans fil; *Kareis*, *ZE*, 16/3.
Quelques installations de Télégraphie sans fil de l'A.E.G.; *Comte Arco*, *EZ*, 30/1.
Récepteur Castelli pour Téléphonie sans fil; *H. Sullivan*, *eER*, 18/7.
Récepteur magnétique pour ondes électriques; *G. Marconi*, *eE*, 18/7.
Récepteurs magnétiques pour Télégraphie sans fil; *E. Wilson*, *eE*, 26/9.
Relai automatique pour longs câbles sous-marins; *S. Brown*, *IEE*.
Relai vibrant pour câbles; *M. Gulstad*, *eER*, 22/8, 30/8.
Signal de bloc automatique pour le chemin de fer à voie unique, Liverpool-Manchester; *ZE*, 29/6.
Signaux pour block-system; *E. Bliss*, *aEW*, 23/8.
Signaux de bloc pour chemins à voie; *L. Kohlfürst*, *EZ*, 20/3.
Signaux de block-system automatiques; *L. Kohlfürst*, *ZE*, 16/2, 2/3.
Simple récepteur téléphonique pour Télégraphie sans fil; *L. Bleckrode*, *eE*, 15/8.
Statu quo téléphonique; *A. Abbott*, *aI*, avril.
Système Braun et Siemens de Télégraphie sans fil; *A. Collins*, *aEW*, 14/16.
Système Braun et Siemens de Télégraphie sans fil; *E. Guarini*, *eER*, 26/9.
Système de la Maryland Telephone and Telegraph Co; *K. Miller*, *aEW*, 7/12.
Système de Forest de Télégraphie sans fil; *eE*, 3/10.
Système Fessenden de Télégraphie sans fil; *A. Collins*, *aEW*, 23/8.
Système multiple téléphonique Siemens; *P. Krösing*, *EZ*, 31/10, 7/11, 14/11.
Télégraphe imprimeur Buckingham; *EZ*, 28/8.
Télégraphie à la main et à la machine; *J. Baker*, *aEW*, 19/7.
Télégraphie Slaby Arco; *A. Collins*, *aEW*, 1/3.
Télégraphie à grande distance et ondes hertziennes; *E. Thompson*, *aEW*, 14/6.
Télégraphie sans fil et ondes hertziennes; *L. de Fortunest*, *aEW*, 5/7.
Télégraphie sans fil; *A. Collins*, *aEW*, 27/9.
Télégraphie sans fil; *F. Collins*, *aEW*, 5/4.
Télégraphie sans fil; *Sullivan*, *eER*, 14/2.
Télégraphie sans fil; *V. Emerson*, *aEW*, 15/2.
Télégraphie sans fil dans la Météorologie; *E. Guarini*, *aEW*, 2/8.
Télégraphie sans fil et câbles sous-marins; *E. Guarini*, *eER*, 28/2, 21/3, 4/4, 27/6, 4/7.

Télégraphie sans fil en Espagne; *E. Guarini*, *eE*, 18/4.
Téléphérage postal en Italie; *C. Pio*, *aEW*, 4, 10.
Téléphonie dans le service des chemins de fer au moyen des fils télégraphiques;
F. Nissl, *ZE*, 27/7.
Téléphotographie électrique; *S. Saubermann*, *ZE*, 14, 9.

XII. — Divers. Historique. Jurisprudence. Réglementation.

Congrès international de Glasgow; *IEE*, décembre.
Disques tournants; *A. Dell*, *aEW*, 15, 2.
Exposition de Buffalo; *A. Hruschka*, *ZE*, 5, 1, 12, 1.
Exposition de Dusseldorf; *CA*, 1, 7, 15, 7, 1, 9, 15, 9, 1, 10; *ZE*, 31, 8, 21, 9, 28, 9.
Exposition de Dusseldorf; *A. Seyffert*, *EZ*, 8, 5.
L'Électricité à l'Exposition de Charlestown; *C. Malcolmson*, *aEW*, 14, 12.
L'Électricité en Autriche-Hongrie; *F. Horschitz*, *aEW*, 3, 5.
Le système Wright; *R. Hale*, *aEW*, 8, 2.
L'industrie électrique à l'Exposition de Dusseldorf; *A. Seyffert*, *EZ*, 14, 8.
Municipalisation des tramways de Vienne; *H. Schreider*, *ZE*, 5, 1.
Note sur les objets les plus intéressants de l'Exposition de Glasgow; *W. Sayers*, *IEE*,
décembre.
Principes de la vente de l'électricité; *A. Wright*, *IEE*.
Principes et profits dans la distribution de l'électricité; *W. Esson*, *eE*, 3, 1.
Principes pour la vente de l'électricité; *A. Wright*, *eE*, 20, 12, 27, 12.
Proposition pour la réforme des tarifs; *K. Wilkens*, *EZ*, 5, 12.
Règlement pour les installations à haute tension; *EZ*, 21, 11.
Statistique des chemins de fer électriques en Allemagne; *EZ*, 27, 3.
Visite en Allemagne; *IEE*.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE TOME II (2^e SÉRIE).

Aciers doux employés dans la construction des machines électriques (Les), par M. Charpy.....	Pages 833
Actualités scientifiques, par M. Max de Nansouty. (<i>Bibl.</i>)	852
Allocution de M. Harlé, Président entrant.....	279
Id. de M. Hillairet, Président sortant.....	277
Alternateurs à collecteur, par M. Marius Latour.....	383
Amortissement de l'emprunt.....	83
Alternateurs auto-exciteurs types d'induction, par M. A. Heyland.....	541
Alternateurs auto-exciteurs types d'induction (Discussion sur les), par MM. Boucherot, Janet, Latour, Korda, J. Rey, Heyland, Hospitalier.....	565
Ampèremètres et voltmètres indépendants de leur aimant (Nouveaux), par M. P. Weiss.....	266
Année électrique, électrothérapique, par le D ^r Foveau de Courmelles. (<i>Bibl.</i>)...	622
Année industrielle (L'), par M. Max de Nansouty. (<i>Bibl.</i>).....	850
Application de la méthode de la boucle à la recherche des défauts sur les réseaux triphasés, par M. Ilievici.....	710
Applications pratiques des ondes électriques (Les). Télégraphie sans fil, par M. Turpain. (<i>Bibl.</i>).....	251
Assemblée générale annuelle du 9 avril.....	255
Id. extraordinaire du 3 janvier 1902.....	5
Avis.....	538, 810
Bateaux sous-marins et les submersibles (Les), par R. d'Équevilley. (<i>Bibl.</i>)...	621
Bibliographie.....	78, 164, 249, 332, 406, 535, 619, 806, 847
Câbles sous-marins (Les), Fabrication, par M. A. Gay. (<i>Bibl.</i>).....	850
Canalisations électriques (Discussion sur les), par MM. Grosselin, Gay, Brylinski, Picou, Geoffroy et Delore.....	104
Canalisations électriques (Les), par M. le Professeur Teichmuller. (<i>Bibl.</i>).....	807
Canalisations souterraines, par M. A. Gay.....	235
Célérité des ébranlements de l'éther (La), par M. L. Décombe. (<i>Bibl.</i>)	848
Chemin de fer métropolitain de Paris (Le), par M. Detroyat.....	136
Combustibles solides, liquides et gazeux (Les), par M. J. Rosset. (<i>Bibl.</i>).....	850
Comité d'administration (Rapport du).....	260
Comité d'administration (Renouvellement partiel du).....	171, 276
Compteur pour la mesure exacte de l'énergie dans les installations triphasées asymétriquement chargées, par M. Riccardo Arno.....	813

	Pages
Correspondance.....	66, 156, 235, 242, 532
Courants polyphasés et alternomoteurs, par M. Sylvanius P. Thompson. (<i>Bibl.</i>).....	165
Courbe de variation de vitesse angulaire, par M. Chevrier.....	534
Cryoscopie, par M. Raoult. (<i>Bibl.</i>).....	849
Définition du coefficient d'irrégularité dans le tour (Note sur la), par M. Alfred Van der Stegen.....	157
Détermination des portées des lignes aériennes (Note au sujet de la), par M. Loppé.....	237
Distinctions honorifiques.....	73
Dispositif de M. Girard pour la régularisation du courant électrique fourni par un moteur à gaz, par M. Lauriol.....	413
Dons.....	6, 83, 257, 709
Éclairage électrique des trains (L'), par M. Ch. Jacquin.....	338, 485
Éclat intrinsèque des gros arcs à courant continu (L'), par M. J. Rey.....	593
Éclat intrinsèque des gros arcs à courant continu (Discussion sur l'), par M. Villard.....	614
École supérieure d'Électricité (Examens de sortie).....	334, 705
École supérieure d'Électricité (Modifications aux conditions de dispense au concours d'entrée).....	706
Electrical catechism. Introduction à l'étude de l'Électricité et de ses applications, par M. G. Shepardson. (<i>Bibl.</i>).....	332
Electric power transmission (A practical treatise for practical men), par M. Louis Bell. (<i>Bibl.</i>).....	535
Électromoteurs, par M. G. Roessler. (<i>Bibl.</i>).....	536
Éléments d'automobiles. Voitures à vapeurs; voitures électriques; voitures à pétrole, par M. Baudry de Saunier. (<i>Bibl.</i>).....	249
Élimination (L') par M. H. Laurent. (<i>Bibl.</i>).....	849
Éloge funèbre de M. A. Cornu.....	336
Essai des câbles et des isolateurs à haute tension.....	245
Essais des câbles électriques (Note sur les), par M. Charpentier.....	204
Essais magnétiques du fer (Note sur les), par M. Armagnat.....	525
Essais magnétiques des fers dans l'industrie (Les), par M. Armagnat, Rapporteur de la sixième Commission.....	172
État actuel de la Télégraphie sans fil par ondes hertziennes (Sur l'), par M. Ferrié.....	9
Étude de la législation allemande sur les brevets d'invention, par M. J. Bonnet. (<i>Bibl.</i>).....	847
Étude de l'influence des régulateurs des moteurs actionnant des alternateurs couplés en parallèle, par M. Guilbert.....	283
Étude des régulateurs de vitesse des moteurs à vapeurs (Programme relatif à l').....	281
Étude des régulateurs (Sur l'), par MM. Blondel, Rateau, Miet, Guilbert, Van der Stegen, Picou, Vigreux et Brillié, Chevrier.....	305
Étude des variations de la vitesse angulaire du volant d'une machine à gaz Otto à l'aide de la méthode stroboscopique. Projection des clichés obtenus, par M. A. Cornu.....	50
Étude pratique sur les différents systèmes d'éclairage, par MM. Defays et Pittet. (<i>Bibl.</i>).....	806

	Pages
Formules et tables pour le calcul des conducteurs aériens, par M. F. Loppé. (Bibl.)	851
Franges d'interférence et leurs applications métrologiques, par M. J. Macé de Lépinay. (Bibl.)	848
Générateurs d'électricité à l'Exposition universelle de 1900 (Les), par M. C.-F. Guilbert. (Bibl.)	619
Géométrie non euclidienne (La), par M. P. Barbarin. (Bibl.)	848
Groupements cristallins, par M. Frédéric Wallerant. (Bibl.)	849
Guide pratique pour le calcul des lignes électriques aériennes à courants alternatifs simples et triphasés, par MM. Pionchon et Heilmann. (Bibl.)	851
Houille blanche et son utilisation pour le réseau général des forces naturelles hydro-électriques (La), par M. L. Mahl. (Bibl.)	333
Influence des régulateurs sur le fonctionnement en parallèle des alternateurs et description d'un nouveau système de commande de ces régulateurs, par M. de Marchena.	754
Informations. Prix Henri Schneider.	409
Installations d'éclairage électrique, par M. E. Piazzoli. (Bibl.)	622
Instruments et méthodes de mesures électriques industrielles, par M. Armagnat. (Bibl.)	250
Laboratoire central d'Électricité.	531
Leçons d'électricité industrielle, par M. Pionchon. (Bibl.)	621
Législation des chutes d'eau, sources, rivières, cours d'eau non navigables, par M. P. Bougault. (Bibl.)	622
Manuel pratique d'électricité industrielle, par M. Ch. Gruet. (Bibl.) ...	249
Mécanique à l'Exposition de 1900. (Bibl.)	78
Membres décédés. 6, 83, 540, 592, 709,	812
Membres titulaires (Admission de)... 6, 82, 170, 256, 336, 412, 540, 592, 708,	812
Merck's Index. (Bibl.)	851
Mesures électriques, essais industriels, par M. E. Vigneron. (Bibl.)	621
Mesures magnétiques industrielles (Sur les), par M. Armagnat.	714
Méthodes pratiques pour calculer les moteurs asynchrones polyphasés, par M. Boy de la Tour. (Bibl.)	250
Monument Gramme (A propos du), par M. Eugène Sartiaux	7
Négociations avec la ville de Paris pour la cession d'un terrain, par M. Mascart.	63, 65
Note sur les compteurs donnés à la Société par la Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz.	69
Notice sur les travaux de Albert Hess. (Bibl.)	332
Ouvrages offerts (Liste des). 80, 167, 253, 407, 537, 624, 808,	853
Périodiques étrangers	74, 161, 246, 402, 616, 800
Perméamètre universel, par M. R.-V. Picou.	828
Phénomènes électriques aux basses températures (Les), par M. d'Arsonval.	177
Power transmission; Westinghouse, AC. Electric traction apparatus; Westinghouse (Bibl.)	807
Practical calculation of dynamo-electric machines (Calcul pratique des machines dynamos, courant continu), par M. Alfred-E. Wiener. (Bibl.)	406

Practical electric railway Hand Book, par M. Albert Herrick. (<i>Bibl.</i>).....	Pages 252
Procédés de mesure de l'écart angulaire d'une machine; procédé stroboscopique de M. Sartori (Sur les), par M. Blondin.....	57
Production et distribution de l'énergie pour la traction électrique, par M. H. Martin. (<i>Bibl.</i>).....	332
Prorogation de la concession du terrain des ambulances.....	532
Protection des lignes aériennes contre la foudre (La), par M. Dussaughey.....	633
Quelques applications d'alternateurs compounds, par M. Boucherot.....	446
Rapport de la Commission des comptes pour l'exercice 1901, par M. Arnoux, Rapporteur.....	257
Rapport sur les travaux de la quatrième Section, par M. E. Sartiaux, Président.....	7
Rapport sur les travaux de la sixième Commission, par M. Armagnat.....	172
Rayons cathodiques (Les), par M. P. Villard. (<i>Bibl.</i>).....	536
Réaction d'induit et chute de tension dans les machines dynamo-électriques, par M. R.-V. Picou.....	425
Recherches expérimentales sur l'électrodynamique des corps en mouvement, par M. Victor Cremieu. (<i>Bibl.</i>).....	164
Recherches expérimentales sur les oscillations électriques d'ordre supérieur, par M. M. Lamotte. (<i>Bibl.</i>).....	164
Recherches sur les forces électromotrices d'aimantation, par M. R. Paillet. (<i>Bibl.</i>).....	620
Régularité des machines dans le tour (Sur la), par M. Van der Stegen.....	66
Régulateurs automatiques et le compoundage électromécanique des groupes électrogènes (Les), par M. Routin.....	678
Représentation matérielle des fonctions à trois variables par des graphiques à trois dimensions (Sur la), par M. Ed. Hospitalier.....	380
Réunions ordinaires mensuelles du 3 janvier 1902.....	5
Id. Id. 5 février ».....	81
Id. Id. 5 mars ».....	169
Id. Id. 9 avril ».....	255
Id. Id. 7 mai ».....	335
Id. Id. 4 juin ».....	411
Id. Id. 9 juillet ».....	592
Id. Id. 5 novembre ».....	707
Id. Id. 3 décembre ».....	811
Réunion supplémentaire du 18 juin 1902.....	539
Situation financière et bilan.....	328
Stéreochimie (La), par M. P. Freundler. (<i>Bibl.</i>).....	849
Télégraphie sans fil (Discussion sur la), par MM. G. Claude et G. Ferrié.....	85
Télégraphie sans fil et les ondes électriques (La), par M. le Commandant Boulanger et M. le Capitaine Ferrié. (<i>Bibl.</i>).....	851
Télétachymètre électrique, par M. Ed. Hospitalier.....	377
Theoretical elements of Electrical Engineering, par M. Charles Proteus Steinmetz. (<i>Bibl.</i>).....	165
Théorie de l'accumulateur au plomb (La), par le Dr Friedrich Dolezalek. (<i>Bibl.</i>).....	806
Théorie de la Lune, par M. H. Andoyer. (<i>Bibl.</i>).....	847
Théories électriques de J. Clerk-Maxwell (Les), par M. P. Duhem. (<i>Bibl.</i>).....	623

	Pages
Traction électrique par contacts superficiels du système Diatto (La), par M. Ch. Julius (<i>Bibl.</i>).....	847
Traction électrique sur la ligne de Fayet à Chamonix (La), par M. Auvert. (<i>Bibl.</i>).....	852
Tramways électriques (Les), par M. Henri Maréchal. (<i>Bibl.</i>).....	405
Transport de l'énergie à grandes distances par l'électricité, par M. F. Loppé. (<i>Bibl.</i>).....	405
Usine génératrice de Champ (L'), par M. Lépine.	659
Voyage d'études techniques de l'École supérieure d'Électricité.....	627



TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS

CITÉS DANS LE TOME II (2^e SÉRIE).

	Pages
ANDOYER (H.). — Théorie de la Lune. (<i>Bibl.</i>).....	847
ARMAGNAT. — Rapport sur les essais magnétiques des fers dans l'industrie.....	172
— Instruments et méthodes des mesures électriques industrielles. (<i>Bibl.</i>).....	250
— Note sur les essais magnétiques du fer.....	525
— Sur les mesures magnétiques industrielles.....	714
ARNO (Riccardo). — Compteur pour la mesure exacte de l'énergie dans les installations triphasées asymétriquement chargées.....	813
ARNOUX (Rapporteur). — Rapport de la Commission des comptes pour l'exercice 1901.....	257
ARSONVAL (D'). — Les phénomènes électriques aux basses températures.....	177
AUVERT. — La traction électrique sur la ligne de Fayet à Chamonix. (<i>Bibl.</i>)....	852
BARBARIN (P.). — La Géométrie non euclidienne. (<i>Bibl.</i>).....	848
BAUDRY DE SAUNIER. — Éléments d'automobiles. Voitures à vapeur; voitures électriques; voitures à pétrole. (<i>Bibl.</i>).....	249
BELL (Louis). — Electric power transmission (A practical treatise for practical men).....	535
BLONDEL. — Sur l'étude des régulateurs.....	305
BLONDIN. — Sur les procédés de mesure de l'écart angulaire d'une machine. Procédé stroboscopique de M. Sartori.....	57
BONNET (J.). — Étude de la législation allemande sur les brevets d'invention. (<i>Bibl.</i>).....	847
BOUCHEROT. — Quelques applications d'alternateurs compounds.....	446
— Discussion sur les alternateurs auto-exciteurs types d'induction.....	565
BOUGAULT (P.). — Législation des chutes d'eau, sources, rivières, cours d'eau non navigables. (<i>Bibl.</i>).....	622
BOULANGER (Commandant) et FERRIÉ (Capitaine). — La Télégraphie sans fil et les ondes électriques. (<i>Bibl.</i>).....	851
BOY DE LA TOUR. — Méthodes pratiques pour calculer les moteurs asynchrones polyphasés. (<i>Bibl.</i>).....	250
BRILLIÉ et VIGREUX. — Sur l'étude des régulateurs.....	305
BRYLINSKI. — Discussion sur les canalisations électriques.....	104
CHARPENTIER. — Note sur les essais des câbles électriques.....	204
CHARPY. — Les aciers doux employés dans la construction des machines électriques.....	835
CHEVRIER. — Sur l'étude des régulateurs.....	305
— Courbe de variation de vitesse angulaire.....	534
CLAUDE. — Discussion sur la télégraphie sans fil.....	85

	Pages
CORNU (A.). — Étude des variations de la vitesse angulaire du volant d'une machine à gaz Otto à l'aide de la méthode stroboscopique. Projection des clichés obtenus.....	50
CREMIU (Victor). — Recherches expérimentales sur l'électrodynamique des corps en mouvement. (<i>Bibl.</i>).....	164
DÉCOMBE (L.). — La célérité des ébranlements de l'éther. (<i>Bibl.</i>).....	848
DOLEZALEK (Dr Friedrich). — La théorie de l'accumulateur au plomb (<i>Bibl.</i>)....	806
DETROYAT. — Le chemin de fer métropolitain de Paris.....	136
DUHEM (P.). — Les théories électriques de J. Clerk-Maxwell. (<i>Bibl.</i>).....	623
DUSSAUGEY. — La protection des lignes aériennes contre la foudre.....	633
EQUEVILLE (R. d'). — Les bateaux sous-marins et les submersibles. (<i>Bibl.</i>)...	621
FERRIÉ. — État actuel de la télégraphie sans fil par ondes hertziennes.....	9
FERRIÉ et BOULANGER. — La télégraphie sans fil et les ondes électriques. (<i>Bibl.</i>).....	85r
FERRIÉ. — Discussion sur la télégraphie sans fil.....	85
FOVEAU DE COURMELLES (Dr). — Année électrique, électrothérapie et radiographique. (<i>Bibl.</i>).....	622
FREUNDLER (P.). — La stéréochimie. (<i>Bibl.</i>).....	849
GAY (A.). — Canalisations souterraines.....	235
— Discussion sur les canalisations électriques.....	104
GAY (A.). — Les câbles sous-marins. Fabrication. (<i>Bibl.</i>).....	850
GEOFFROY et DELORE. — Discussion sur les canalisations électriques.....	104
GROSSELIN. — Discussion sur les canalisations électriques.....	104
GUILBERT (C.-F.). — Étude de l'influence des régulateurs des moteurs actionnant des alternateurs couplés en parallèle.....	283
— Sur l'étude des régulateurs.....	305
— Les générateurs d'électricité à l'Exposition de 1900. (<i>Bibl.</i>).....	619
GRUET (Ch.). — Manuel pratique d'électricité industrielle. (<i>Bibl.</i>).....	249
HARLÉ. — Allocution.....	279
HEILMANN et PIONCHON. — Guide pratique pour le calcul des lignes électriques, courants alternatifs simples et triphasés. (<i>Bibl.</i>).....	851
HERRICK (Albert). — Practical electric Railway Hand Book (<i>Bibl.</i>).....	252
HEYLAND (A.). — Alternateurs auto-exciteurs types d'induction.....	541
— Discussion sur les alternateurs auto-exciteurs types d'induction.....	565
HILLAIRET. — Allocution.....	277
HOSPITALIER (Ed.). — Discussion sur les alternateurs auto-exciteurs types d'induction.....	565
— Sur la représentation matérielle des fonctions à trois variables par des graphiques à trois dimensions.....	380
— Télétachymètre électrique.....	377
ILIOVICI. — Application de la méthode de la boucle à la recherche des défauts sur les réseaux triphasés.....	710
JACQUIN (Ch.). — L'éclairage électrique des trains.....	338-485
JANET (P.). — Discussion sur les alternateurs auto-exciteurs types d'induction.	565
JULIUS (Ch.). — La traction électrique par contacts superficiels du système Diatto. (<i>Bibl.</i>).....	847
KORDA. — Discussion sur les alternateurs auto-exciteurs types d'induction....	565

	Pages
LAMOTHE (M.). — Recherches expérimentales sur les oscillations électriques d'ordre supérieur. (<i>Bibl.</i>).....	164
LATOUR (Marius). — Alternateurs à collecteur.....	383
— Discussion sur les alternateurs auto-exciteurs types d'induction.....	565
LAURENT (H.). — L'élimination. (<i>Bibl.</i>).....	849
LAURIOL. — Dispositif de M. Girard pour la régularisation du courant électrique fourni par un moteur à gaz.....	413
LÉPINE. — Usine génératrice de Champ.....	659
LOPPÉ (F.). — Formules et tables pour le calcul des conducteurs aériens. (<i>Bibl.</i>).....	851
LOPPÉ. — Note au sujet de la détermination des portées des lignes aériennes ...	237
— Transport de l'énergie à grandes distances par l'électricité. (<i>Bibl.</i>).....	406
MACÉ DE LÉPINAY (J.). — Franges d'interférence et leurs applications métrologiques. (<i>Bibl.</i>).....	848
MAHL (L.). — La houille blanche et son utilisation par le réseau général des forces naturelles hydro-électriques. (<i>Bibl.</i>).....	333
MARCHENA (de). — Influence des régulateurs sur le fonctionnement en parallèle des alternateurs et description d'un nouveau système de commande de ces régulateurs.....	754
MARÉCHAL (H.). — Les tramways électriques. (<i>Bibl.</i>).....	405
MARTIN (H.). — Production et distribution de l'énergie pour la traction électrique. (<i>Bibl.</i>).....	332
MASCART. — Négociations avec la Ville de Paris pour la cession d'un terrain ..	63-65
Merck's Index. (<i>Bibl.</i>).....	851
MIET. — Sur l'étude des régulateurs.....	305
NANSOUTY (Max de). — Actualités scientifiques. (<i>Bibl.</i>).....	852
— L'année industrielle. (<i>Bibl.</i>).....	850
PAILLET (R.). — Recherches sur les forces électromotrices d'aimantation. (<i>Bibl.</i>).....	620
PIAZZOLI (E.). — Installations d'éclairage électrique. (<i>Bibl.</i>).....	622
PICOU (R.-V.). — Discussion sur les canalisations électriques.....	104
— Sur l'étude des régulateurs.....	305
— Réaction d'induit et chute de tension dans les machines dynamo-électriques ..	425
— Perméamètre universel.....	828
PIONCHON. — Leçons d'électricité industrielle (<i>Bibl.</i>).....	621
PIONCHON et HEILMANN. — Guide pratique pour le calcul des lignes électriques aériennes à courants alternatifs simples et triphasés (<i>Bibl.</i>).....	851
RAOULT. — Cryoscopie (<i>Bibl.</i>).....	849
RATEAU. — Sur l'étude des régulateurs.....	305
REY (J.). — Discussion sur les alternateurs auto-exciteurs types d'induction ..	565
— État intrinsèque des gros arcs à courant continu.....	593
ROESSLER (G.). — Électromoteurs. (<i>Bibl.</i>).....	536
ROSSET (J.). — Les combustibles solides, liquides et gazeux. (<i>Bibl.</i>).....	850
ROUTIN. — Les régulateurs automatiques et le compoundage électromécanique des groupes électrogènes.....	678
SARTIAUX (Eug.). — Monument Gramme.....	7
— Rapport sur les travaux de la quatrième section.....	7
SHEPARDSON (G.). — Electrical catechism. Introduction à l'étude de l'électricité et de ses applications. (<i>Bibl.</i>).....	332

	Pages
STEGEN (Van der). — Sur la régularité des machines dans le tour.....	66
— Note sur la définition du coefficient d'irrégularité dans le tour.....	157
— Sur l'étude des régulateurs.....	305
STEINMETZ (Charles Proteus). — Theoretical Elements of electrical Engineering. (<i>Bibl.</i>).....	165
TEICHMULLER. — Les canalisations électriques. (<i>Bibl.</i>).....	807
THOMPSON (P.). — Courants polyphasés et alternomoteurs (<i>Bibl.</i>).....	165
TURPAIN. — Les applications pratiques des ondes électriques. Télégraphie sans fil. (<i>Bibl.</i>).....	251
VIGNERON (E.). — Mesures électriques, essais industriels. (<i>Bibl.</i>).....	621
VIGREUX et BRILLIÉ. — Sur l'étude des régulateurs.....	305
VILLARD (P.). — Les rayons cathodiques. (<i>Bibl.</i>).....	536
— Sur l'éclat intrinsèque des gros arcs à courant continu (Discussion).....	614
WALLERANT (Frédéric). — Groupements cristallins. (<i>Bibl.</i>).....	849
WEISS (P.). — Nouveaux ampèremètres et voltmètres indépendants de leur aimant.	266
WIENER (Alfred-E.). — Practical calculation of dynamo-electric machines (Calcul pratique des machines dynamos; courant continu). (<i>Bibl.</i>).....	406



ATELIERS RUHMKORFF

J. CARPENTIER

Ingénieur-Constructeur

PARIS. — 20, rue Delambre. — PARIS.

APPAREILS DE MESURES ÉLECTRIQUES

Ohmmètre pour la mesure des isolements. — Wattmètres pour la vérification des compteurs.
— Pyromètre électrique de M. Le Chatelier. — Installation pour la vérification des ampèremètres et voltmètres. — Appareil pour la mesure rapide des faibles résistances. — Voltmètre de précision. — Boîtes de résistances industrielles. — Bobine Ruhmkorff pour l'inflammation des moteurs à gaz.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

POUR LA **PUBLICITÉ** S'ADRESSER A

M. CH. TESSIER

Agent Administratif de la Société.

Paris. — 12 & 14, rue de Staël. — Paris.

TÉLÉPHONE N° 708-68

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 55, PARIS (6°).

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE D'ÉLECTRICITÉ

AVEC LES PRINCIPALES APPLICATIONS,

Par R. COLSON,

Capitaine du Génie.

3^e édition, revue et augmentée. In-18 jésus, avec 91 figures; 1900..... **3 fr. 75 c.**

PARIS 1900 : GRAND PRIX



Téléphone 503.71-503.73.

GEOFFROY & DELORE

28, rue des Chasses, à Clichy (Seine).

Câbles isolés au caoutchouc

CABLES ARMÉS

Pour canalisation souterraine
Haute tension.

COMPAGNIE FRANÇAISE POUR L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS

THOMSON-HOUSTON

Capital : 40 millions de francs.

PARIS. — 10, rue de Londres, 10. — PARIS.

TRACTION ÉLECTRIQUE — TRANSMISSION D'ÉNERGIE

*Éclairage par arc et par incandescence, par courants continus et alternatifs,
Transformateurs, Parafoudres, Industrie minière, Compteurs.*

MACHINES BELLEVILLE A GRANDE VITESSE

AVEC GRAISSAGE CONTINU A HAUTE PRESSION

PAR POMPE OSCILLANTE SANS CLAPETS

Brevet d'invention S. G. D. G. du 14 Janvier 1897.



Machine à triple expansion ayant fonctionné à l'Exposition de 1900
(Galerie des groupes électrogènes)
Puissance 1200 chevaux environ. — Nombre de tours par minute : 250.

ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE : BELLEVILLE, Saint-Denis-sur-Seine.

Machines à simple, double, triple
et quadruple expansion, robustes,
économiques;

Fonctionnant sans bruit, sans
vibrations;

Occupant peu de place;

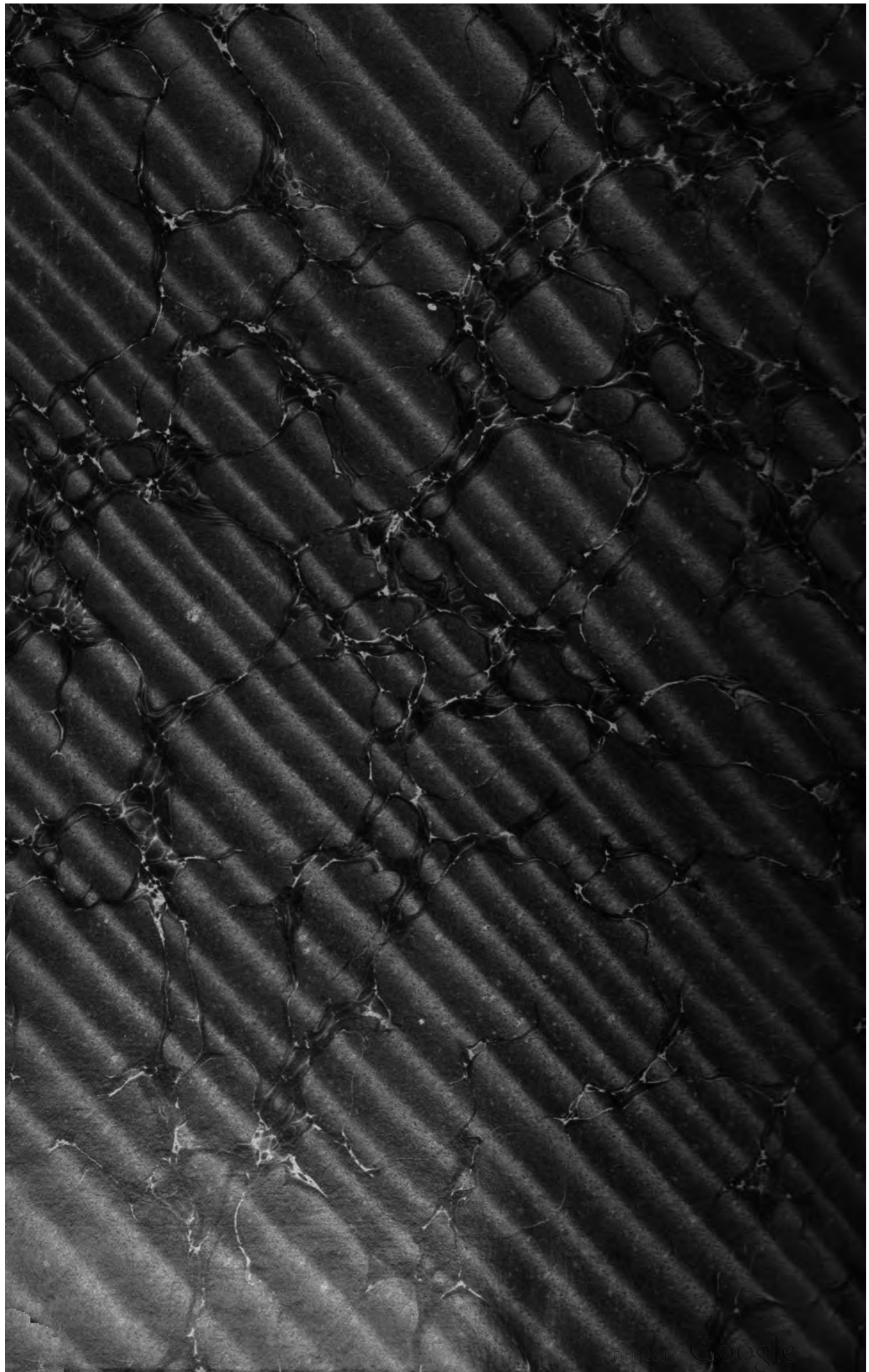
Faciles à conduire, aisément
visitables et démontables;

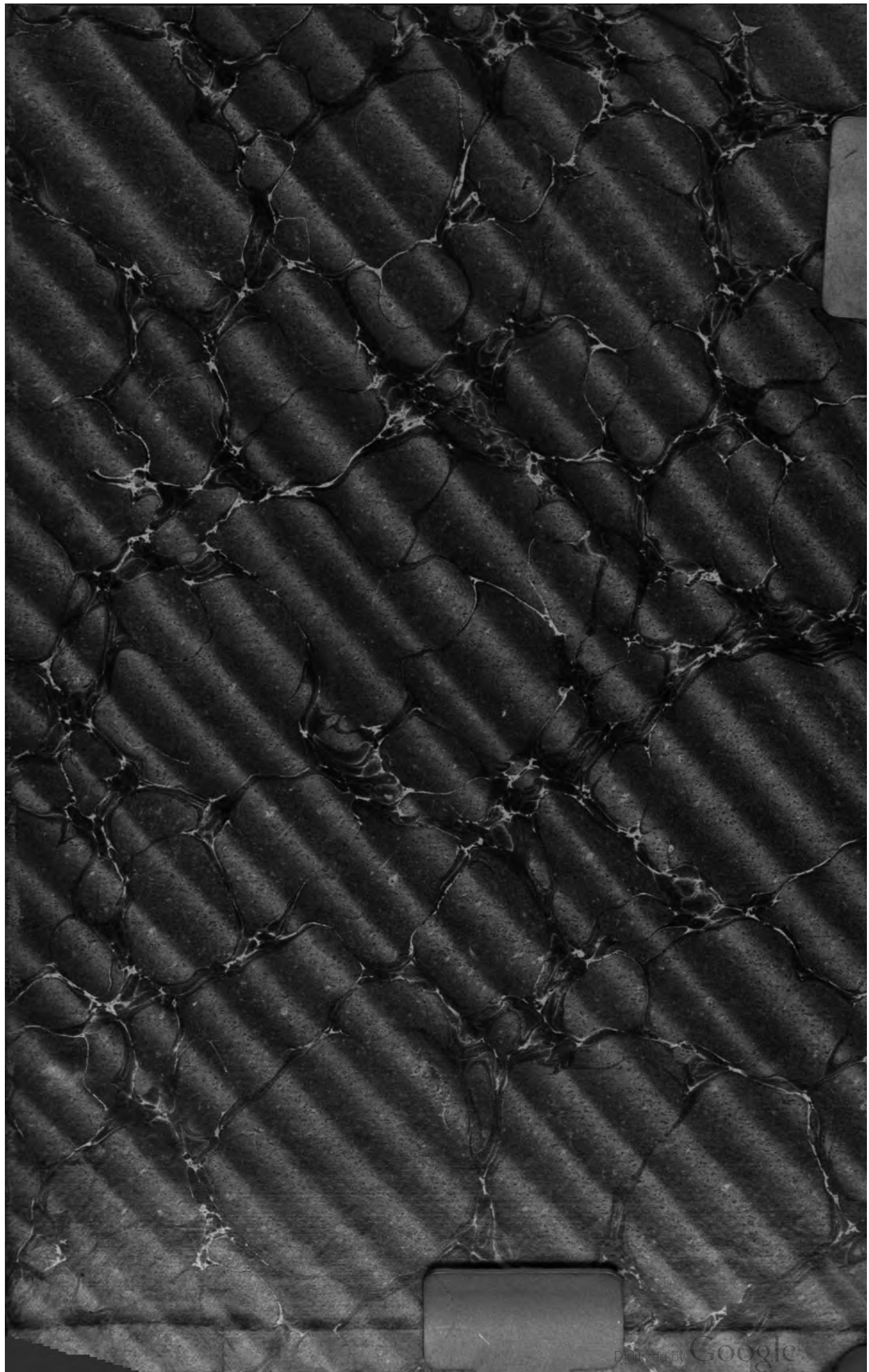
Disposées pour conduire direc-
tement des dynamos, pompes cen-
trifuges, etc.

**TYPES
DE 10 A 2000 CHEVAUX**

Envoi franco de tous renseignements.

**DELAUNAY BELLEVILLE & C^{IE},
à Saint-Denis-sur-Seine.**





Widener Library



3 2044 082 518 416

HD